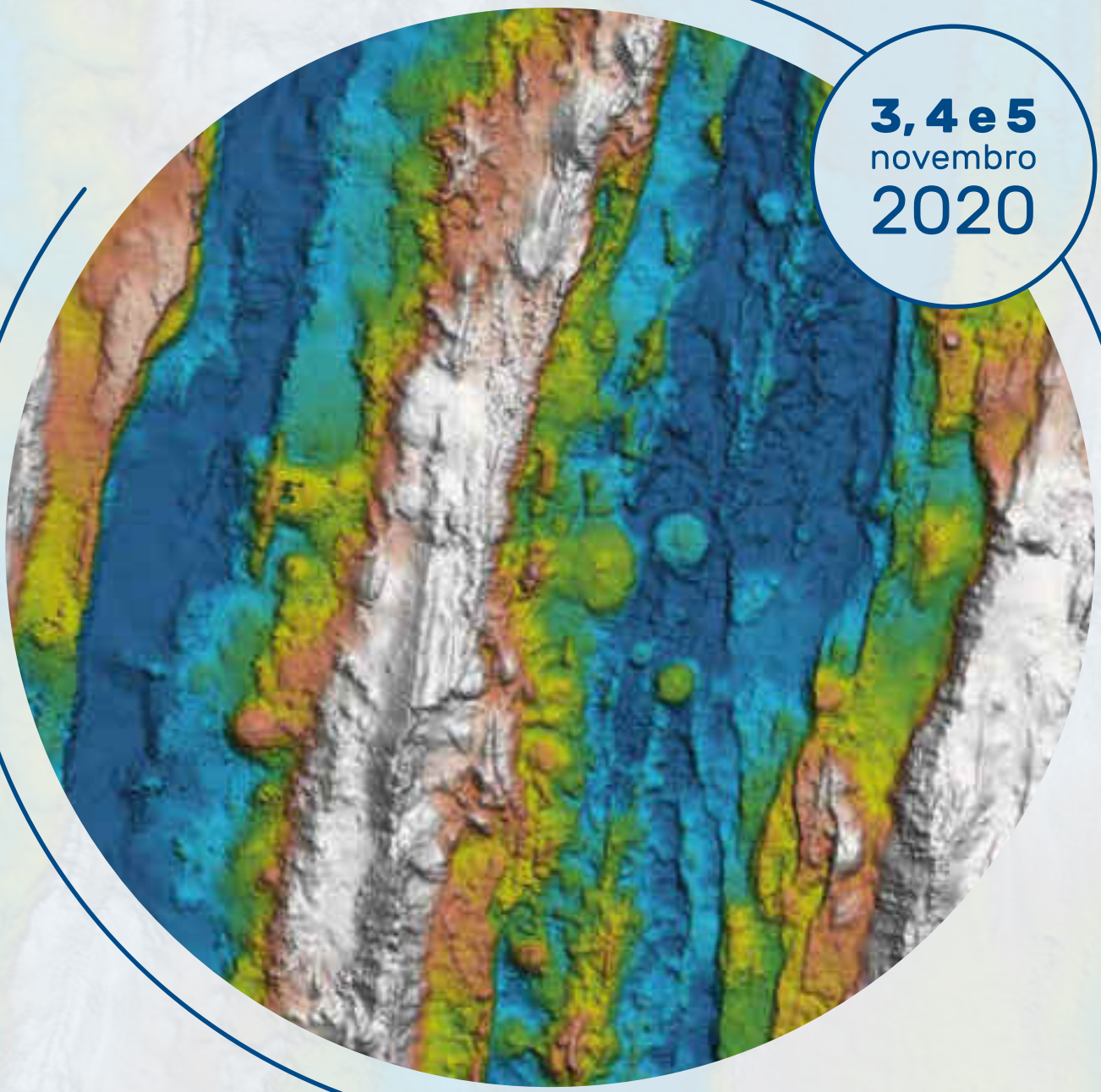
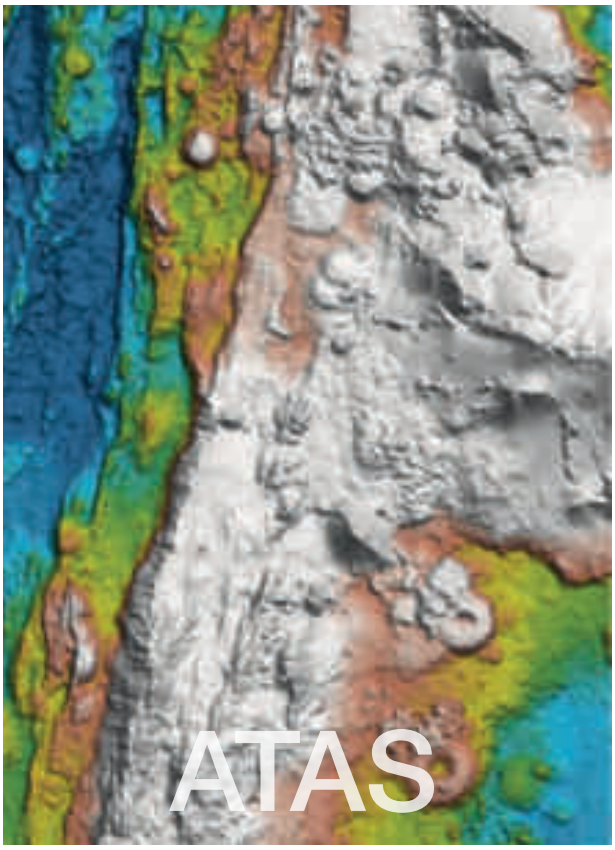
6as Jornadas de Engenharia Hidrográfica

1as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia

ATAS



3, 4 e 5
novembro
2020



6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia

Lisboa

Título - Atas das 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia
Autor - Instituto Hidrográfico
Tiragem - 40 exemplares
Edição e paginação - Instituto Hidrográfico, 2020
ISBN – 978-989-705-144-9
Depósito Legal – 475736/20

Índice

I. Comissões 9
Honra, Científica e Organizadora

II. Patrocinadores e Apoios 11

III. Nota Introdutória 19

IV. Resumos Alargados 21

COMUNICAÇÃO ESPECIAL 23

Governança dos dados: um modelo para a valorização dos dados numa sociedade em rápida mudança 25
Marques, A.; Marques, M.; Nunes, P.; Antunes, L.

HIDROGRAFIA 40

Determinación precisa de la red hidrográfica de Galicia 41
Fariña, A.; Suárez, J. R.

Towards the establishment of a reference hydrographic surface (RHS) in Spanish waters: Application and validation of CMEMS IBI-Reanalysis data 45
González, C. J.; Torres, J. R.; Bernárdez, P.; Ramos, R. J.

Identificação das principais alterações da nova edição da S-44 "IHO Standards for Hydrographic Surveys" 49
Monteiro, C.; Marques, C.; Dias, T.; Vicente, J.; Roscher, N.; Peçanha, A.

Characterizing free and open-source tools for ocean-mapping 53
Cordero, J. M.; Kastrisios, C.

Operacionalização da embarcação científica do CESAM: levantamentos hidrográficos em ambiente costeiro com o sistema multifeixe EM 2040 C 57
Cavalinhos, R.; Correia, R.; Rosa, P.; Lillebø, A. L.; Pinheiro, L. M.

Levantamentos hidrográficos expeditos em zonas de catástrofe através de técnicas de deteção remota como apoio à projeção de forças no terreno 61
Bué, I.; Catalão, J.; Semedo, A.

Levantamentos batimétricos a partir de imagens de SAR 65
Santos, D.; Abreu, T.; Silva, P. A.; Baptista, P.

Capacidades del Servicio Hidrográfico Colombiano, para sensoramiento remoto geofísico 69
Oviedo, K.; Otálora, N.; Jigena, B.; Muñoz, J. J.; Contreras, A.

Implementación del método geomagnético marino en el conocimiento del territorio marítimo colombiano 73
Oviedo, K.; Jigena, B.; Muñoz, J. J.; Otálora, N.; Contreras, F.

UAV e câmaras multiespectrais: uma ferramenta para a estimação de batimetria e detecção de objectos em zonas rasas 77
Sousa, C.

Establecimiento de una red limnimetrica en las hidrovías de la Amazonia peruana 81
Jigena, B.; Lévano, F.; Muñoz, J. J.; Quispe, C.; Rey, W.; Romero, J.; Berrocoso, M.

Determinación preliminar de los peligros de origen marino, aplicando la metodología Rueda de Peligros Costeros en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia 85
Cabarcas, A.; Jigena, B.; Rey, W.; Vidal, J.

Modelação da evolução da linha de costa no litoral arenoso do arco Caparica-Espichel 89
Sancho, F.

Searching for structures in the Water Column 93
Marques, C.; Carvalho, P.; Silva, R.

Testing storm impact modelling at São Pedro de Moel beach 97
Cabrita, P.; Ferreira, A. M.; Fortes, C. J. E. M.; Ferreira, O.; Freire, P.

101 CARTOGRAFIA

103 Aplicación práctica de la cartografía multihaz en la gestión de los fondos marinos, ejemplos: Fort D'en Moreu (Islas Baleares) y Puerto de Santander (Cantabria)
Muñoz, A.; Elvira, E.; Martín, D.; Pérez, I.; Pascual, L.

107 O futuro da Cartografia Hidrográfica em Portugal
Vicente, J.; Monteiro, C.; Veiga, L.; Sanches, P.

111 Infraestrutura Geodésica de Portugal
Ribeiro, H.; Medeiro, A.; Bernardes, A.

115 Cartografia Náutica do Rio Minho: Duas Nações, uma solução conjunta
Reis, A. R.; Moura, A.; Sanches, P.; Vicente, J.

119 Rio Tejo – Um desafio à aquisição de dados e à produção cartográfica
Sanches, P.; Vicente, J.; Dias, T.

123 NAVEGAÇÃO E SERVIÇOS MARÍTIMOS

125 Protótipo de um Sistema de Apoio à Decisão Colaborativo para Equipas de Navegação – Interface do Utilizador
Marques, R.; Conceição, V.; Correia, A.

129 Behaviour of Moored Ships in Azorean Ports during Hurricanes Lorenzo and Elsa
Pinheiro, L.; Santos, M. I.; Fortes, C. J. E. M.; Zozimo, A. C.

133 OCEANOGRAFIA

135 SAR observations of internal solitary waves off the Portuguese coast: nonlinear interactions
Magalhaes, J. M.; Pires, A. C.; Silva, J. C. B. da; Oliveira, P. B.

139 Mid-shelf internal wave activity off Figueira da Foz in September 2019
Oliveira, P. B.; Magalhães, J. M.; Pires, A. C.; Oliveira, A.; Santos, A. I.

143 Modelling wave overtopping with XBeach and IH2VOF. Preliminary results.
Oliveira, J. N. C.; Oliveira, F. S. B. F.; Neves, M. G.; Trigo-Teixeira, A. A.

147 Modelling 2DH beach morphodynamics in XBeach: model versions and hydrodynamic modes performance
Oliveira, J. N. C.; Oliveira, F. S. B. F.; Trigo-Teixeira, A. A.

151 OceanDrift – Forecasting the drift of objects in the ocean
Lamas, L.; Zacarias, N.; Diniz, F.; Mateus, A.; Martins, I.

155 Application of high frequency (HF) radar technology in the detection of tsunamis
Lima, V.; Fernandes, C. S.

159 On the synergy between remote sensing and glider observations to investigate the ocean dynamics
Lamas, L.; Martins, I.; Vitorino, J.; Barrera, C.

163 Bias corrected CMIP5-Derived Single-Forcing Future Wind-Wave Climate Projections towards the End of the 21st Century
Lemos, G.; Semedo, A.; Dobrynin, M.; Menendez, M.; Miranda, P.

167 On the decreases in North Atlantic significant wave heights from climate projections
Lemos, G.; Menendez, M.; Semedo, A.; Miranda, P.; Hemer, M.

171 Modelação da Acústica Submarina e Previsão Sonar – ferramenta SeaRider
Torres, A.; Costa, C.

175 Modelos hidromorfodinâmicos para simulação de estuários em cenários ambientais futuros
Iglesias, I.; Pinho, J. L.; Bio, A.; Avilez-Valente, P.; Melo, W.; Vieira, J. M.; Bastos, L.; Veloso-Gomes, F.

179 Otimização das operações de aquacultura com previsões hidrodinâmicas de alta resolução
Bartolomeu, S.; Severino, R.; Rodrigues, J.; Leitão, P. C.; Leitão, J. C.

Validação do protótipo do sistema To-SEAlert para o porto da Ericeira. Depressões Elsa e Fabien **183**
Zózimo, A. C.; Fortes, C. J.; Pinheiro, L. V.

Avaliação do galgamento costeiro sem e com um quebra-mar destacado na frente da praia da Vagueira **187**
Fortes, C. J. E. M.; Neves, M. G.; Capitão, R.; Pinheiro, L.

Evaluation of HF radars skills for wave height observation at the west coast of the Iberian Peninsula **191**
Bué, I.; Semedo, A.; Catalão, J.

Laboratory and numerical studies of solitary and N-waves **195**
Lima, V.; Avilez-Valente, P.; Baptista, M. A.; Miranda, J. M.

Sazonalidade no oceano e atmosfera, junto ao Arquipélago da Madeira **199**
Alves, J. M. R.; Tomé, R.; Caldeira, R.; Miranda, P. M. A.

Implementation and validation of an operational forecasting system for nearshore hydrodynamics with OPENCoastS **203**
Nahon, A.; Fortunato, A.B.; Azevedo, A.; Oliveira, F. S. B. F.; Oliveira, J. N. C.; Rogeiro, J.; Oliveira, A.; Jesus, G.; Silva, P. A.; Freire, P.

The Marine Heatwaves in Mid-Latitudes of the Northeast Atlantic Ocean **207**
Plecha, S. M.; Soares, P. M. M.

Comparação de dados maregráficos em tempo quase-real **211**
Carinhas, D.; Infante, P.; Martinho, A.; Vasquez, F.

Apoio à tomada de decisão sobre a praticabilidade das barras **215**
Madeira, F.; Alves, M.; Pinto, J. P.; Guerreiro, R.; Grosso, N.; Almeida, S.

Análise da energia de ondas infragravíticas na Baía do Espírito Santo, Brasil **219**
Colaço, G.; Gallo, M.; Parente, C.; Pinheiro, L.; Fortes, J.; Delpuppo, D.; Freitas, T.

Aplicação de um sistema baseado em sensores de baixo custo para a monitorização em tempo real de ondas de infragravidade em portos e marinas **223**
Moura, T.; Chambel, P.; Chambel, J.; Silva, A.; Ribeiro, J.

Variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar na Costa Portuguesa **227**
Silva, C. S.; Lamas, L.; Moura, R.

Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira **231**
Sancho, F.; Oliveira, F. S. B. F.; Fortes, C. J. E. M.; Baptista, P.; Roebeling, P.

O efeito do coeficiente de transmissão na modelação a longo-termo da evolução da linha de costa **235**
Canelas, S. T.; Sancho, F.; Pinheiro, L.; Trigo-Teixeira, A.

Preliminary evaluation of Sentinel-derived Suspended Particulate Matter and turbidity products in the Sado estuary (Portugal) **239**
Sent, G.; Biguino, B.; Cruz, J.; Heumüller, J.; Cardoso, I.; Sá, C.; Dogliotti, A.; Brotas, V.; Brito, A. C.

Phytoplankton biomass and bloom phenology patterns off the Western Iberian Coast (SW Europe) **243**
Ferreira, A.; Brotas, V.; Palma, C.; Borges, C.; Brito, A. C.

Phytoplankton community in the Sado estuary **247**
Santos, M.; Amorim, A.; Cruz, J. P. C.; Veloso, V.; Favareto, L. R.; Dâmaso-Rodrigues, M. L.; Palma, C.; Borges, C.; Chainho, P.; Félix, P. M.; Brotas, V.; Brito, A. C.

Phytoplankton Size Classes in Portuguese coastal waters **251**
Favareto, L. R.; Tracana, A.; Ferreira, A.; Nascimento, A.; Fonseca, A.; Veloso, V.; Sá, C.; Gomes, M.; Palma, C.; Rudorff, N. M.; Brotas, V.; Brito, A.C.

Variability of temperature and chlorophyll in the Sado Estuary: integration of in situ observations and satellite data **255**
Biguino, B.; Sousa, F.; Sá, C.; Cruz, J.; Sent, G.; Heumüller, J.; Cereja, R.; Gomes, M.; Borges, C.; Palma, C.; Brito, A. C.

259 GEOLOGIA MARINHA

261 Evolução morfo-sedimentar da plataforma adjacente ao sistema fluvial do Tejo desde o Último Máximo Glaciário
Vinhas, A.; Rodrigues, A.

265 Sedimentary processes on Santa Maria Island shelf (Azores): Preliminary results from the PLATMAR project
Quartau, R.; Moreira, S.; Zhao, Z.; Pombo, J.; Duarte, J.; Rodrigues, A.

269 The space variability of the sedimentary cover of the Portuguese continental shelf: contribution from the AQUIMAR Project
Santos, R.; Oliveira, A.; Pombo, J.; Rodrigues, A.

273 Dynamics of Nepheloid layers associated with internal wave activity off Figueira da Foz
Oliveira, A.; Santos, A. I.; Oliveira, P. B.; Zacarias, N.; Amorim, A.

276 Variabilidade textural da cobertura sedimentar de 4 zonas interiores de Portugal continental entre 2002-2006 e 2019
Santos, R.; Oliveira, A.; Luz, C.; Pombo, J.; Rodrigues A.; Palma, C.

280 The potential of UAV to monitor coastal dunes changes
Sousa, L. B.; Costas, S.; Ferreira, O.

284 Acoustic remote seabed characterization for habitat suitability modelling – Gigante Seamount Complex, Mid-Atlantic Ridge (Azores, Portugal)
Santos, R.; Taranto, G. H.; Dominguez-Carrió, C.; Rodrigues, L.; Quartau, R.; Morato, T.

288 Analysis of S. João da Caparica beach vulnerability to a maritime storm event
Oliveira, F. S. B. F.; Fortunato, A. B.; Freire, P. M. S.

292 Avaliação do desgaste do pigmento em traçadores magnéticos
Romão, S.; Taborda, R.; Cascalho, J.; Fernandes, A. F.; Duarte, J.; Rato, D.; Silva, P. A.

296 Comparação entre modelos numéricos na avaliação de eventos de galgamento costeiro – Caso de estudo: Costa da Caparica
Ferreira, A. M.; Fortes, C. J. E. M.; Reis, M. T.; Garzon, J. L.

300 Evolução do sistema Bugio-Caparica entre 1980 e 2018
Portela, L. I.

304 Projeto Sandtrack- Novas abordagens metodológicas sobre traçadores sedimentares
Fernandes, A. F.; Rato, D.; Silva, S.; Ribeiro, M.; Taborda, R.; Rodrigues, A.; Romão, S.; Vinhas, A.; Pombo, J.

308 Revisão da cartografia de depósitos sedimentares junto à desembocadura dos rios Tejo e Sado
Vinhas, A.; Moreira, S.; Lapa, N.; Rodrigues, A.

312 Contributo para a cartografia sedimentar da plataforma da Ilha de Santa Maria (Arquipélago dos Açores)
Moreira, S.; Vinhas, A.; Rodrigues, A.; Quartau, R.; Santos, R.

316 Critical flood conditions in two beaches of the Portuguese central west coast
Freire, P.; Oliveira, F. S. B. F.; Oliveira, J. N. C.

320 O contributo de fontes históricas para a avaliação da vulnerabilidade à inundação em estuários
Rilo, A.; Tavares, A.; Freire, P.; Zêzere, J. L.

324 Correntes, ondas e transporte de sedimentos na baía de Nacala, Moçambique
Portela, L. I.

328 Os padrões de distribuição das partículas sedimentares ao largo do rio Tejo, deduzidos a partir de parâmetros sedimentológicos
Lapa, N.; Vinhas, A.; Rodrigues, A.

Registo geológico onshore e offshore de tsunamis - Projeto OnOff 332
Duarte, J. F.; Costa, P.; Pombo, J.; Lapa, N.; Bosnic, I.; Silas, C.; Bizarro, A.

Salt marsh response to changing hydrodynamics: the case of Ancão inlet migration (Ria Formosa coastal lagoon) 336
Amado, M.; Kombiadou, K.; Carrasco, A. R.

QUÍMICA DO MEIO MARINHO 341

A novel methodology towards accurate and automatic microplastics identification from the aquatic environment 342
Morgado, V.; Palma, C.; Silva, R. B.

A contribuição do projeto CONPRAR para a qualidade da água e moluscos bivalves da Ria Formosa 346
Jacob, J.; Cravo, A.; Correia, C.; Matos, A.; Caetano, S.; Barbosa, A. B.

Metais no estuário do Sado e implicações na qualidade ambiental 350
Almeida, J.; Palma, C.; Brito, A.; Félix, P.

Quantificação de metais em áreas da Plataforma Continental Portuguesa com potencial aquícola 354
Rico, M.; Santos, R.; Santos, T.; Palma, C.

Monitorização química de sistemas marinhos - Avaliação do impacto da amostragem na incerteza de resultados por simulação de Monte Carlo de dados georreferenciados 358
Borges, C.; Palma, C.; Silva, R. J. N. B.

Abordagem alternativa de comparação de razões de diagnóstico para a identificação da origem de derrames de produtos petrolíferos 362
Rocha, A. C.; Palma, C.; Silva, R. J. N. B.

Compostos orgânicos na Costa Portuguesa o projeto AQUIMAR 366
Santos, P.; Rocha, A. C.; Palma, C.

TECNOLOGIAS DO MAR 371

Sustainable energy system for ships: Ammonia as energy storage 372
Nunes, A.

Simulation of Hurricane Lorenzo at the port of Lajes das Flores, Azores, by using the HIDRALERTA system 376
Santos, M. I.; Reis, M. T.; Pinheiro, L.; Fortes, C. J. E. M.; Zózimo, A. C.; Serrazina, V.; Salvador, M.; Azevedo, E. B.; Reis, F. V.

Intertidal zone mapping using in-situ, local high-resolution and lower-resolution satellite remote sensing data 380
Bio, A.; Borges, D.; Azevedo, I. C.; Pinto, I. S.; Gonçalves, J. A.

Estudo sobre a utilização do ECDIS na execução da navegação em águas restritas 384
Nepomuceno, G.; Conceição, V.

Three-dimensional survey in scale model tests of rubble-mound breakwaters. Laser scanning and Time of Flight methodologies 388
Lemos, R.; Santos, J. A.; Fortes, C. J. E. M.; Kerpen, N. B.

Validación de un sistema ILS aeronáutico con técnicas hidrográficas RTK 392
Espinosa, S.; Terrón, J. A.

Wave energy assessment in Portugal potential locations for OWC installation 396
Anastas, G.; Pinheiro, L. V.; Fortes, C. J. M. E.; Santos, J. A.

Sistema de vídeo-monitorização para extração de parâmetros hidro-morfológicos. O caso de estudo da praia da Vagueira 400
Santos, F.; Baptista, P.; Silva, P.; Pais-Barbosa, J.; Andriolo, U.; Sancho, F.

Mapping the shallow water seabed of the Atlantic coastal regions through Satellite multispectral data 404
Santos, R.; Quartau, R.

408 Desenvolvimento de um observatório costeiro para a Área Metropolitana de Lisboa
Campuzano, F.; Rodrigues, M.; Castellanos, P.; Pinto, J. P.; Almada, F.; Costa, P.; Deus, R.; Nunes, S. Fernandes, M. J.; Martins, A.; Pascoal, A.; Sobrinho, J.; Godinho, V.; Oliveira, A.; Oliveira, A.; Brito, A.; Pablo, H.; Brotas, V.; Costa, J. L.; Gonçalves, E.; Fernandes, C. S.; Neves, R.

413 INFRAESTRUTURAS DE DADOS GEOESPACIAIS DO MAR

414 Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina – IdeIHM
Fernández-Ros, A.

418 SEAMAP 2030
Dias, T.; Veiga, L.; Vicente, J.

422 O Registo Nacional de Dados Geográficos e o novo Geoportal do Sistema Nacional de Informação Geográfica
Furtado, D.; Patrício, P.; Bica, V.; Silva, H.; Fonseca, A.; Gomes, A. L.; Serronha, A.; Ferreira, S.; Caetano, M.

426 Gestão de Campanhas no Hidrográfico+
Almeida, S.; Nunes, P.; Veiga, L.; Borges, C.; Melo, R.

430 Sistema de Informação para a Gestão da Atividade dos Cruzeiros Científicos
Brardo, M.

434 Modelação de Informação para Tomada de Decisão numa Unidade Naval
Afonso, D.; Correia, A.; Conceição, V.; Moura, R.

438 Hidrográfico+: O desenvolvimento de uma infraestrutura de dados e informação geoespacial marinha
Nunes, P.; Saraiva, S.; Almeida, S.; Equipa de projeto Hidrográfico+

442 A importância da metainformação na re(utilização) dos dados da cartografia sedimentar
Melo, R.; Rodrigues, A.; Saramago, A.; Luz, C.

446 Estatísticas de direção e intensidade do vento nas áreas oceânicas de responsabilidade nacional com base no ERA5 dataset
Nunes, P.; Nobre, A.; Teles, J.; Almeida, S.

450 A evolução da rede de boias multiparamétricas no IH
Alves, M.; Almeida, S.; Vitorino, J.; Esteves, R.; Martins, I.

454 Interpolação de variáveis oceanográficas com distribuição tridimensional através do método *Empirical Bayesian Kriging* 3D
Nobre, A.; Godinho, S.; Nunes, P.; Mosqueira, M.

458 Aquisição de dados hidrográficos de elevada resolução – um *trade off* entre necessidade e capacidade
Marques, C.; Dias, T.; Vicente, J.; Veiga, L.; Nunes, P.

463 Índice de autores

I.

Comissões

COMISSÃO DE HONRA (PORTUGAL)

Ministro da Defesa Nacional, *Professor Doutor João Gomes Cravinho*
Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, *Professor Doutor Manuel Heitor*
Ministro do Ambiente e da Ação Climática, *Engenheiro João Pedro Matos Fernandes*
Ministro do Mar, *Professor Doutor Ricardo Serrão Santos*
Presidente da Câmara Municipal de Lisboa, *Dr. Fernando Medina*
Chefe do Estado-Maior General das Forças Armada, *Almirante António Silva Ribeiro*
Chefe do Estado-Maior da Armada, *Almirante António Mendes Calado*
Reitor da Universidade de Lisboa, *Professor Doutor António Cruz Serra*
Reitor da Universidade Nova de Lisboa, *Professor Doutor João Sàágua*
Reitor da Universidade do Porto, *Professor Doutor António de Sousa Pereira*
Reitor da Universidade de Aveiro, *Professor Doutor Paulo Jorge Ferreira*
Reitor da Universidade dos Açores, *Professor Doutor João Luís Gaspar*
Reitor da Universidade da Madeira, *Professor Doutor José Molarinho Carmo*
Reitor da Universidade do Algarve, *Professor Doutor Pedro Águas*
Presidente da Academia de Marinha, *Almirante Francisco Vidal Abreu*
Presidente do Comité Português para a Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, *Professor Doutor Luís Menezes Pinheiro*
Presidente da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, *Professora Doutora Helena Pereira*
Diretora-Geral de Política do Mar, *Doutora Helena Vieira*
Comandante da Escola Naval, *Contra-almirante Mário Simões Marques*
Presidente da Estrutura de Missão para as Comemorações do V Centenário da Circum-Navegação, *Dr. José Manuel de Carvalho Marques*
Presidente do Colégio Nacional de Engenharia Geográfica, *Engenheiro João Manuel Agria Torres*

COMISSÃO DE HONRA (ESPANHA)

Almirante de Acción Marítima, *VA Juan Luis Sobrino Pérez-Crespo*
Almirante Director da Enseñanza Naval, *CA Victoriano Gilabert Agote*
Director del Real Observatório de la Armada, *CN Francisco Javier Galindo Mendoza*
Rector del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantábria, *D. Ángel Pazos Carro*
Director de Investigación del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantábria, *D. Iñigo Losada Rodríguez*
Vicerrectora de la Universidad de Cádiz, *Doña María Jesús Mosquera Díaz*
Directora en funciones del Instituto Geológico y Minero de España, *Doña Isabel Suárez Díaz*
Decano de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Vigo, *D. Miguel Ángel Mombela Castaño*
Director del Instituto Geográfico Nacional, *D. Lorenzo García Asencio*
Director de la Unidad de Tecnología Marina, *D. Jorge Sorribas Cervantes*
Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, *D. Guillermo Cisneros Pérez*

DIRETORES DOS INSTITUTOS HIDROGRÁFICOS

Diretor-geral do Instituto Hidrográfico, *Contra-almirante Carlos Ventura Soares*
Director del Instituto Hidrográfico de la Marina, *Capitán de Navío José Daniel Gozález-Aller Lacalle*

COMISSÃO CIENTÍFICA

Doutora Carla Mesquita Palma, Marinha, IH (presidente)
Doutora Anabela Campos Oliveira, Marinha, IH
Teniente de Navío Alberto Fernández Ros, IHM
Professor Doutor Alfredo Izquierdo, UCA
Professora Doutora Ana Brito, MARE/FCUL
Engenheira Ana Leonor Veiga, Marinha, IH
Doutora Ana Lillebø, UA, CESAM
Professora Doutora Ana Navarro, FCUL
Professora Doutora Ana Pombo, MARE/IPLeiria
Capitão-de-mar-e-guerra António Costa Canas, Marinha, EN
Antonio Rodríguez Pascual, CNIG-IGN
Doutora Aurora Rodrigues Bizarro, Marinha, IH
Professor Doutor Carlos Antunes, FCUL
Capitão-de fragata Engenheiro Hidrógrafo Carlos Santos Fernandes, Marinha, IH
Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo Carlos Videira Marques, Marinha, IH

Dora Carinhas, Marinha, IH
Doutor Enrique Alvarez Fanjul, Puertos del Estado
Doutor Filipe Arede, Wavec
Professor Doutor Flávio Martins, UAlg
Engenheira Helena Ribeiro, DGT
Ilmer Golde, Marinha, IH
Inês Martins, Marinha, IH
Professor Doutor João Catalão Fernandes, FCUL
Capitão-de fragata Hidrógrafo João Vicente, Marinha, IH
Professor Doutor Joaquim Dias, MARE/FCUL
Doutor Joaquim Pombo, Marinha, IH
Capitão-de fragata Jorge Santos Teles, Marinha, IH
Jose Cristobal Maraver Romero, SASEMAR
Capitán de Fragata José María Bustamante Calabuig, IHM
Capitán de Fragata Jose Manuel Quijano de Benito, IHM
Doutor José Paulo Pinto, Marinha, IH
Capitán de Fragata Ramón Torres García, IHM
Doutora Luísa Lamas, Marinha, IH
Capitão-tenente Oceanógrafo Luís Quaresma dos Santos, Marinha, IH
Professor Doutor Manuel Arcila Garrido, UCA
Professora Doutora Maria João Bebiano, UAlg
Professor Doutor Miguel Bruno Mejías, UCA
Capitão-de fragata Miguel Moreira, Marinha, CINAV
Capitão-de-mar-e-guerra Engenheiro Hidrógrafo Miguel Bessa Pacheco, Marinha, IH
Doutora Mónica Ribeiro, Marinha, IH
Engenheira Paula Sanches, Marinha, IH
Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo Paulo Antunes Nunes, Marinha, IH
Professor Doutor Ricardo Silva, FCUL
Rita Esteves, Marinha, IH
Engenheira Rita Ramos, APL/OE
Tenente-coronel Rui da Silva Teodoro, CIGeoE
Doutor Rui Quartau, Marinha, IH
Professor Doutor Rui Taborda, FCUL
Capitão-tenente Hidrógrafo Telmo Dias, Marinha, IH
Doutor Telmo Morato, UAc/DOP
Professora Doutora Vanda Brotas, MARE/FCUL
Professor Doutor Virgílio Mendes, FCUL

COMISSÃO ORGANIZADORA

Capitão-de-mar-e-guerra Engenheiro Hidrógrafo Miguel Bessa Pacheco (presidente)
Capitán de Fragata Andrés Millán Gamboa
Capitán de Fragata Gustavo Gomez-Pimpollo Crespo
Capitão-de fragata Hidrógrafo João Delgado Vicente
Capitão-tenente Isabel Salgueiro da Cruz
Capitão-tenente Hidrógrafo Sérgio Franco Leitão
Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo Paulo Antunes Nunes
Capitão-tenente Hidrógrafo Telmo Geraldes Dias

II.

Patrocinadores e Apoios

KONGSBERG MARITIME

QUALITAS INSTRUMENTS

ELECNOR DEIMOS

MRA Instrumentação

TELEDYNE CARIS

ESRI PORTUGAL - Sistemas e Informação Geográfica

VÓRTICE - Equipamentos Científicos

NAUTIRADAR - Sistemas Marítimos de Electrónica e de Telecomunicações

PROJETO AQUIMAR

PROJETO SAGA


KONGSBERG
THE FULL PICTURE
FOR OCEAN SCIENCE
FULLY INTEGRATED SOLUTIONS FROM KONGSBERG MARITIME
· Automation and Data Management
· Underwater Mapping
· Marine Robotics
· Marine Ecosystem Monitoring
· High Precision Acoustic Positioning
· Underwater Environmental Monitoring
· Camera and Light Systems
· Launch and Recovery Systems
· Position Reference Systems
· Dynamic Positioning
· Integrated Bridge Solutions and Navigation Systems
· Automation and Power Management
· Simulation Systems
km.kongsberg.com

qualitas instruments

Soluções Inovadoras para a Monitorização e Gestão do Meio Ambiente



CODAR · MacArtney UNDERWATER TECHNOLOGY · NORTEK · MicroStep-MIS · RBR

SEQUOIA · RTSYS · DeepWater BUOYANCY · portus by QUALITAS

www.qualitasinstruments.com (+351) 210 438 600

info@qualitasinstruments.com (+351) 210 438 601

deimos
elecnor group



Espaço



Mar



Aeronáutica

A EXPANDIR FRONTEIRAS



Transportes



Industria



Telecomunicações

Av. D. João II, 41, 10º
Lisboa, Portugal
+351 21 893 30 10

Ronda de Poniente 19
Tres Cantos, Madrid, Espanha
+34 91 806 34 50

elecnor-deimos.com
deimos@deimos.com.pt

III.

Nota introdutória

As 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica decorreram em simultâneo e de forma agregada com as 1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia. Esta inovação permitiu juntar os Institutos Hidrográficos das Marinhas de Portugal e Espanha na organização do evento, dando-lhe uma nova dimensão internacional, que se pretende consolidar em próximas edições.

Num cenário de pandemia devido à COVID-19, as Jornadas foram adiadas por quatro meses. Mesmo com a persistência da pandemia, a determinação da organização levou à sua realização sob a forma de *webinar* através da *internet.*

As cento e três comunicações submetidas evidenciam igualmente a resiliência dos autores e o interesse em mostrar os seus trabalhos. Estas comunicações foram divididas por sessões temáticas de hidrografia, cartografia, oceanografia, geologia marinha, química marinha, navegação e serviços marítimos, tecnologias do mar e infraestruturas de dados geoespaciais do mar.

Em nome do Instituto Hidrográfico agradeço a colaboração de todos os envolvidos nestas 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia, esperando que o espaço virtual e a forma como decorreram possa contribuir para o enriquecimento pessoal, profissional e científico dos participantes. Deixo igualmente uma palavra de agradecimento à Comissão de Honra, à Comissão Científica e à Comissão Organizadora pelo apoio à realização das Jornadas e a disponibilidade na preparação e realização das várias atividades. Igualmente agradeço o apoio proporcionado pelas diversas empresas nacionais e internacionais, num cenário de grande adversidade comercial, para colaborar neste evento.

Aproximando-se o início da Década das Ciências do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável 2021-2030, espero que os trabalhos destas Jornadas sejam um contributo válido e motivador para os investigadores, especialmente os mais jovens, que se dedicam às ciências e tecnologias do Mar, seja em Portugal seja em Espanha.

Bem hajam!

O DIRECTOR-GERAL



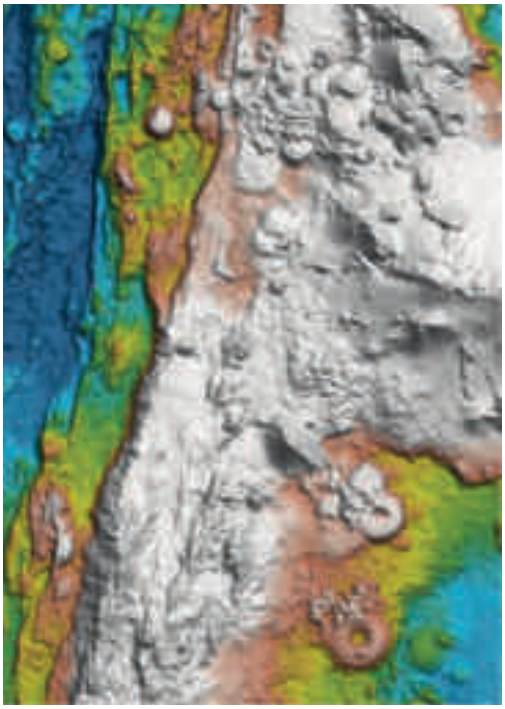
Carlos Ventura Soares
Contra-almirante

IV.

Resumos Alargados

COMUNICAÇÃO ESPECIAL

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Governança dos dados: um modelo para a valorização dos dados numa sociedade em rápida mudança

Marques, A. (1); Marques, M. (2); Nunes, P. (3); Antunes, L. (4)

(1) Gabinete Nacional de Segurança- Rua da Junqueira, 69, 1300-342 Lisboa. gameiro.marques@gns.gov.pt.
(2) Coimbra Business School. miguel.marques.contact@gmail.com.
(3) Instituto Hidrográfico. antunes.nunes@hidrografico.pt.
(4) Faculdade de Ciências do Porto. antunes.lfa@gmail.com.

Resumo: Na Era digital os dados assumem o papel de matéria-prima transacionável e fonte de valor. O seu enorme potencial gera preocupações e a necessidade de desenvolver estratégias justas de repartição do valor e capazes de responder a questões de segurança, privacidade e de natureza geopolítica, entre outras.
A sociedade vive hoje um período de fundadas apreensões sobre a sustentabilidade do sistema terra e do seu principal motor, o oceano. Os desafios para conhecer o imenso azul são grandes e obrigam à mobilização global em torno da Década dos Oceanos (2021-2030). Só com dados validados será possível gerar o conhecimento necessário ao estabelecimento de políticas geradoras de um bom estado ambiental dos oceanos e o consequente desenvolvimento económico e societal.
Este artigo apresenta uma reflexão sobre a importância dos dados na sociedade atual e pretende dinamizar a discussão sobre o tema da governança dos dados em geral e os dados "azuis" em particular.

Palavras-chave: cibersegurança, economia azul, estratégia europeia para os dados, governança dos dados, tecnologias e sistemas de informação.

1. INTRODUÇÃO

A História tem-nos mostrado que não existe desenvolvimento económico sustentado sem segurança. Com efeito, num Mundo cada vez mais ligado física e logicamente através das mais diversas tecnologias de comunicação e informação, onde a matéria-prima são os dados, a informação e o conhecimento daí decorrente, é desejável que a utilização daquela matéria-prima deva ser objeto de um conjunto de políticas públicas, quer ao nível da União Europeia (UE) quer no contexto nacional, que contribua para que o uso dos dados aporte efetivo valor para a sociedade.
Desta forma, o desenvolvimento de um ecossistema que permita gerar valor a partir dos dados apresenta uma fonte de crescente análise geoestratégica e assume particular importância na agenda dos governantes das principais economias globais. Na reunião dos G20, decorrida de 28 e 29 de junho de 2019, o primeiro-ministro Japonês colocou à discussão dos parceiros o *Osaka Track framework*. Este modelo foi apresentado aos homólogos como uma ferramenta que permitirá dinamizar um mercado transfronteiriço e justo de dados. Será um primeiro passo para a governança internacional de um recurso capaz de suscitar as mais diversas questões éticas e de geopolítica, incluindo a soberania dos estados e os direitos dos cidadãos (CSIS 2019).
Em 29 de julho de 2020 *The World Economic Forum* declara, através de um artigo publicado online, *Data is the new gold* e afirma que tecnologia combinada com os dados oferecem uma fronteira de novas oportunidades para a economia e a sustentabilidade do ambiente, desde que usados com eficiência. A mesma opinião é tida pelo governo da República Popular da China, tendo reconhecido em abril os dados como o *new factor of production*.
Com efeito, a transformação digital da sociedade dá provas continuadas de os dados serem um recurso transacionável com retorno económico para as empresas especializadas na exploração das suas mais valias. São múltiplos os artigos da especialidade a conduzir à mesma conclusão: "a revolução dos dados" está a forçar a evolução das modelos de negócio e a economia. (World Economic Forum 2020a)
Todavia, os seus benefícios societais desdobram-se por vários domínios que transcendem a visão puramente economicista. A título de exemplo, como amplamente referenciado no relatório da OCDE *Rethinking Innovation for a Sustainable Ocean Economy*, os benefícios económicos e societais dos dados de observação do Oceano são extensos, embora difíceis de quantificar (OCDE 2019, 163).
As Nações Unidas (NU) identificaram um conjunto de indicadores e objetivos para um futuro sustentável, com eles reconhecem a importância do acesso eficiente aos dados para monitorizar os indicadores associados aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) (United Nations s.d.). No rol identificado pelas NU é particularmente relevante o ODS 14 dedicado à problemática dos Oceanos e a exploração sustentável dos seus recursos. (Nações Unidas s.d.)
A gestão e a monitorização do ambiente requerem fluxos contínuos de dados e conhecimento; só dessa forma é possível antever o futuro e reagir atempadamente através de decisões inteligentes. No

caso do oceano, elemento fundamental para a sustentação da vida e para as economias globais, o conhecimento é reconhecidamente limitado. Este facto motivou o estabelecimento da Década do Ciência do Oceano (2021-2030) (Nações Unidas 2019) procurando uma partilha ativa de dados e conhecimento à escala global. A meta 14.a do ODS 14 elenca diretamente a problemática do conhecimento limitado e a premência em "*increase scientific knowledge, develop research capacity and transfer marine technology [...] in order to improve ocean health"* (Nações Unidas s.d.).

A necessidade de estender o conhecimento sobre o imenso azul é uma questão antiga. Aparece identificado no *First global integrated marine assessment* (FGIMA) (Nações Unidas 2015). O relatório, já com 5 anos, aborda o problema identificando-o como "*Knowledge gaps – much is known about much of the ocean, but nowhere do we have the detailed knowledge desirable for the future management of human use of ocean"* (Nações Unidas 2015, 52). O relatório identifica ainda as prioridades para a recolha de informação: (1) a estrutura física dos oceanos; (2) a composição e movimento das massas de água; (3) os ecossistemas marinhos; (4) os processos de interação entre os humanos e o oceano.

Mais recentemente o mesmo problema é retomado no relatório da Comissão Europeia *Mission Starfish 2030: Restore our Ocean and* Waters (Comissão Europeia 2020d, 19). O documento constata a existência de "*significant gaps in our understanding and knowledge"*. A sociedade de hoje não possui um entendimento completo dos serviços prestados pelos oceanos e muitas das soluções para os problemas que enfrentamos permanecem por descobrir nas brumas do futuro. O documento constata que até ao presente foi feito um investimento significativo na recolha de dados. Porém, a informação marinha continua muito fragmentada. Conclui sobre a necessidade de desenvolver muito trabalho neste âmbito nos tempos vindouros, no estimulo à partilha de dados do oceano e recursos hídricos, no funcionamento coerente das infraestruturas federadas de dados, e no desenvolvimento de ferramentas e serviços de prospeção de conhecimento. Aquele relatório considera de particular importância o reforço do princípio open data *as much as possible*. O problema da falta de conhecimento reduz-se a uma súmula proverbial - *no measurement, no prediction, no management* (Comissão Europeia 2020d, 19).[1]

A *Marine Strategy Framework Directive* (MSFD) publicada em 2008 recomenda o envolvimento de todos os estados membros na implementação de estratégias para atingir um ambiente marinho sustentável. A MSFD é um documento orientado ao ecossistema e vê a economia azul dependente da sustentabilidade do Oceano. O Relatório de Avaliação da Economia Azul de 2020 publicado pela Comissão Europeia refere que na zona euro, em 2018, os usos e atividades relacionadas com o oceano representam 5 milhões de empregos e originaram um Valor Acrescentado Bruto (VAB) de aproximadamente 218,3 mil milhões de euros.

No mesmo ano, em Portugal, os setores de atividade ligados ao mar (recursos vivos, turismo costeiro, extração marinha de petróleo e gás, transporte marítimo, construção e reparação naval e ainda portos, armazenamento e projetos marítimos) empregavam mais de 252 mil pessoas e geraram 5.700 milhões de euros, aproximadamente 2,6% do VAB nacional (Comissão Europeia 2020a, Comissão Europeia 2020b, 20).

A nível global, a OCDE estima que em 2030 as atividades económicas dos setores relacionados com o mar irão empregar 40 milhões de pessoas e antevê um crescimento acentuado e generalizado em todos os setores (Figura 1)



Fig. 1. Estimativa de evolução global dos setores relacionados com a Economia Azul extraída do OECD Report – The Ocean Economy in 2030 (OCDE 2016, 32).

Concomitantemente, o aumento da população e a crescente pressão antropogénica sobre o Oceano torna urgente a implementação de iniciativas globais que possam gerar o necessário equilíbrio entre a exploração económica do oceano e a sustentabilidade do meio. A geração atual encontra-se, assim, num momento de viragem e tem a responsabilidade de desenvolver um uso seguro e sustentável do oceano. A utilização inteligente dos recursos obriga a decisões baseadas no melhor conhecimento disponível. A compreensão da hidrosfera dependerá de dados marinhos atualizados e disponíveis – *blue data*. A OCDE apresenta quatro recomendações importantes para a economia azul, todas elas dependentes de dados:

- Aumentar a cooperação internacional no âmbito da ciência e tecnologia azul como meios para estimular a inovação e sustentar o desenvolvimento da economia azul;

[1] William Edwards Deming was an American statistician, professor, author, lecturer, and consultant. He is perhaps best known for the "Plan-Do-Check-Act" cycle popularly named after him, and is also credited for the quote: "In God we trust; all others must bring data."

- Fortalecer a gestão integrada do espaço marinho;
- Desenvolver metodologias estatísticas que permitam medir o desempenho e contributos dos setores da economia azul;
- Desenvolver e capacitar a indústria azul para antever e perspetivar as tendências globais do mercado;

Os parágrafos anteriores deixam claro que os dados marinhos (*blue data*) são um recurso basilar da economia azul e garante de um futuro sustentável (Figura 2).

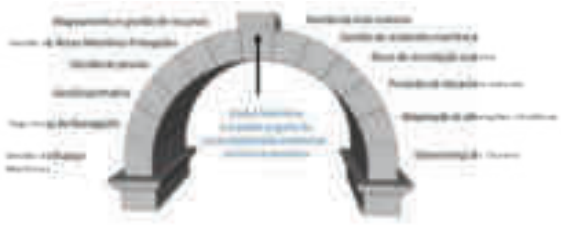


Fig. 2. Importância dos dados marinhos no suporte das atividades da Economia Azul (adaptado de Harper (2016)).

Decidir com inteligência depende, assim, da disponibilidade de dados de qualidade, confiáveis e respeitando os princípios de uma partilha justa. No entanto, garantir dados marinhos alinhados com os princípios FAIR (Wilkinson et al. 2016) – *Findability, Accessibility, Interoperability e Reusability* - disponíveis para consumo imediato em infraestruturas sustentáveis, continua a ser um problema de solução complexa. A questão é aflorada na *European Strategy for* Data (ESD) (Comissão Europeia 2020c) onde aparecem enumerados vários constrangimentos ao uso dos dados num contexto de mercado digital europeu:

- Indisponibilidade dos dados e\ou dificuldade do acesso aos mesmos;
- Desigualdade do mercado de serviços baseados em dados;
- Interoperabilidade e qualidade dos dados;
- Governança dos dados;
- Infraestruturas e tecnologias de suporte;
- Educar os cidadãos para o exercício dos seus direitos;
- Competências digitais e literacia dos dados;
- Cibersegurança.

Por fim é importante referenciar os resultados preliminares da consulta sobre a ESD: 90% dos respondentes consideraram a liderança/governança como um pilar fundamental para orientar os mecanismos e processos partilhados necessários a uma exploração inteligente e eficiente da informação. A não implementação das melhores práticas de interoperabilidade continua a ser um obstáculo à partilha e reutilização, conduz ao desperdício de recursos e impede disponibilidade dos dados. Com esta questão em aberto se justifica que 80 % dos respondentes assinalassem dificuldades no uso de dados partilhados por terceiros (Comissão Europeia 2020e).

As referências consultadas identificam várias questões e problemas, de que destacamos: Como reduzir o *Ocean konwlegde gap*? Como otimizar recursos de gestão de dados e as infraestruturas federadas? Como obter o equilíbrio, justiça e confiança num mercado de dados? Como explorar eficientemente o potencial dos dados para a economia azul? Como medir e conhecer a cadeia de valor associada aos dados. Estas são algumas de uma extensa lista, todavia, todas elas confluem na necessidade de ter uma governança de dados. Só com uma governança ativa é possível garantir a maximização do valor\benefício dos dados e o alinhamento entre o nível nacional, o nível regional (EU) e o global.

Neste artigo apresenta-se uma reflexão sobre a importância de gerar valor através dos dados, escolhendo a economia azul como um contexto piloto relevante para que Portugal tenha a oportunidade de contribuir, de forma decisiva, para que a Europa e o Mundo, ultrapassem as barreiras existentes que impedem a geração de valor através dos dados. Neste contexto, são apresentadas propostas de princípios orientadores para um modelo federado de geração de valor através dos dados, bem como dois exemplos de cenários futuros aplicados à economia azul.

2. POR QUE É IMPORTANTE PARA PORTUGAL POSSUIR UMA ESTRUTURA QUE ENTENDA OS DADOS, COMO RECURSO CUJA GOVERNAÇÃO APORTA VALOR À SOCIEDADE?

É comum ouvir-se falar que os dados são o petróleo do século XXI. De acordo com o *The Economist* (Maio de 2017) as cinco maiores empresas relacionadas com os dados disponíveis na internet atingiram lucros, em 2017, superiores a 25 mil milhões de dólares. No mesmo sentido, em 2020, o *Finantial Times* (Junho de 2020) reporta que dentro das 100 empresas que mais prosperaram em todo o mundo, no cenário de pandemia (COVID-19), estão as mesmas cinco maiores empresas de 2017, referidas pelo *The Economist*, mais novas empresas relacionadas com *cloud computing*, *ecommerce* e *egaming*, todas elas relacionadas com o uso de dados digitalmente acessíveis, a partir dos quais se gera valor. Estes são dois exemplos muito concretos que demonstram que os dados, transformados em informação útil, têm muito valor.

Os grandes dados são também a matéria prima fundamental para que a inteligência artificial funcione. Adicionalmente, conforme refere o *World Economic Forum* e a Universidade de Cambridge, no inquérito Transformar Paradigmas (Inquérito Global à Inteligência Artificial nos Serviços Financeiros), nos últimos anos o uso de dados de fontes alternativas tem aumentado muito, nomeadamente usos de social

media, fotografias de satélite, reportes meteorológicos, combinados com dados tradicionais, têm multiplicado em muito o valor dos dados e do uso da inteligência artificial para a análise de dados.

O *World Economic Forum*, no documento "O Novo Paradigma para O Negócio dos Dados" (World Economic Forum 2020b), refere que existem as seguintes oportunidades emergentes para a criação de valor através dos dados:

- Novo valor para as pesquisas, sondagens e inquéritos – A UP42 (Airbus) gera valor para os seus interlocutores ao longo de toda a cadeia de valor, colocando numa plataforma única dados de imagem de múltiplos satélites de vários fornecedores e todos os intervenientes ganham, por cada vez que os dados são utilizados; a Instacart (EUA grossista online) gera valor partilhando informação anonima sobre penetração no mercado de cabazes de compras melhorando as vendas dos seus parceiros e melhorando a experiencia de compra dos seus clientes e a Hewlett Packard Enterprise (HPE) e a Continental criaram uma plataforma de partilha de dados sobre mobilidade que gera valor para os construtores de automóveis na conceção de futuros veículos, mais seguros e mais confortáveis, que melhorarão a experiência de condução dos automobilistas.
- Novos modelos de negócio que resultam de ecossistemas de parceria na partilha de dados – A Inrupt tornou disponível aos seus clientes optarem sobre como autorizam que os seus dados sejam partilhados (ex. partilha da sua condição física captada no ginásio com empresas de seguro de saúde…), podendo limitar essa partilha a qualquer momento, gerando valor para ambos os intervenientes; o Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A (BBVA) abriu a partilha de informação sobre os seus clientes, por solicitação dos clientes interessados na partilha, para as fintech terem informação sobre estes clientes; e a Machine Learning Ledger Orchestration for Drug Discovery (MELLODDY) é um consorcio de empresas farmacêuticas que estão a usar o *blockchain* e a aprendizagem descentralizada federada, garantindo que os dados originais permanecem nos servidores das empresas proprietárias, reduzindo custos de pesquiza e acelerando o surgimento de novos medicamentos eficazes;
- Experiências mais ricas para os utilizadores da informação, porque mais customizadas – A Ping An capta dados através de uma plataforma criada para gestão integrada de imóveis permitindo mais rapidez e melhores preços aos seus clientes e acesso a um maior mercado ao fornecedores, mantendo o anonimato; a Dassault Systèmes dedica-se à e-medicina personalizada e a experiencia baseadas no paciente de forma mais rápida e mais segura, utilizando para isso experiência 3D que criam gémeos virtuais; e a Digi.me permite aos seus utilizadores compilar dados pessoais, financeiros e de saúde para serem vendidos em contrapartida de um valor que recebem.
- Melhores decisões baseadas na análise de dados – A Aera Technology esta a utilizar os grandes dados para desenvolver automação cognitiva ao longo da cadeia de fornecimentos oferecendo à procura visibilidade em tempo real que permite uma melhor decisão a todos os intervenientes; a Kabbage é um fintech está a permitir o acesso a mais fundo de maio a pequenas empresas através de um processo de decisão que contem mais dados, de forma mais rápida, e a Ocean Protocol permite a que compra informação relevante para melhor tomada de decisão, por exemplo a ConnectedLife e a Roche usam esta plataforma para melhor servirem os seus pacientes.

Existem cada vez mais facilitadores tecnológicos que permitem a partilha de dados e de informação garantido regras de boa governação.

Trusted Execution Environment (TEE) utiliza a encriptação para proteger os dados. Points utiliza TEE com mais encriptações para permitir a visualização e uso de dados.

Descentralized Learning processa informação de várias localizações sem retirar os dados originais do seu servidor base. Só o que se concluiu das perguntas efetuadas aos dados é que flui. A HPE partilha os resultados de questões efetuadas aos dados relativos a questões de saúde existentes em múltiplos servidores, em todo o mundo.

Distributed Insight Generation utiliza códigos e algoritmos em vez de retirar os dados originais. O projeto *Open Algorithm* (OPAL) está a gerar indicadores chave relacionados com a população, a densidade, a mobilidade que permitem aos operadores de comunicações tomarem decisões de investimento.

Multi-Party Computation (MPC) é um protocolo criptográfico que permite a computação conjunta sem revelar os dados. Sedicii permitiu a monitorização de procedimentos anti lavagem de dinheiro utilizando informação de vários bancos.

Defferential Privacy acrescenta ruido aos dados escondendo a parte privada dos mesmos. Apple, Uber, Facebook e Google utilizam esta técnica.

Homomorphic Encryption encripta os dados para as comunicações permitindo a computação. A Duality Technologies, utiliza *homomorphic encryption* para fazer grandes estudos de genoma.

Personal Online Data Stores (Pods) permitem armazenar dados pessoais de múltiplas fontes mantendo o controlo. A Inrupt tornou disponível aos seus clientes optarem sobre como autorizam que os seus dados sejam partilhados.

Data Sharding permite partir a informação em blocos lógicos. MongoDB utiliza o *Data Sharding* para partilhar informação entre diferentes geografias.

Digital Twin é um modelo virtual utilizando dados reis. A MDClone and Jefferson Health efetuaram uma parceria para o usos de dados sintéticos.

Explainable and Robust AI tem por objetivos anular o viés da inteligência artificial. Fiddler Labs criou o mecanismo de inteligência artificial que torna visível o fator de decisão.
Da mesma forma, cada vez mais, existem facilitadores não tecnológicos, relacionado com standards que permitem a partilha de dados e de informação garantido regras de boa governação.
Financial Industry Business Ontology (FIBO) é um modelo conceptual que harmoniza os dados para a indústria financeira.
A *Digital Twin Consortium* da ONG *Object Management Group* (OMG) visa a estandardização de procedimentos para produtos gémeos digitais.
Ministério da Economia Japonês (METI) publicou guias e manuais para partilha de informação industrial.
O Consórcio para a Computação Confidencial da Fundação Linux promove o usos da computação confidencial.
O Instituto Chinês para a Informação e Comunicação e a Cinha Mobile criaram um grupo de trabalho para desenvolverem standards de indústria para computação segura baseada na TEE.
The Singapore government's Business sans Borders (BSB) é um hub híbrido de dados e de soluções para SMEs, que permite o acesso a um ecossistema global de compradores e de vendedores.
Em Portugal, principalmente nas áreas de banca e seguros e do retalho de grandes superfícies, com a criação de cartões por consumidor, se começou a tentar tratar os grandes dados de forma a gerarem valor através do maior conhecimento dos consumidores e na tentativa de antecipar o seu comportamento, o que permitia adaptara a oferta à procura, de uma forma, muito mais customizada. Atualmente, Portugal está na linha da frente do uso de plataformas digitais internacionais tendo capacidade de tirar muito maior proveito de todo o tipo de grandes dados.
Atendendo à grande dimensão marítima de Portugal, e à sua geografia peninsular e arquipelágica, bem como ao seu posicionamento entre vários continentes, com grandes corredores de tráfego marítimo, excelentes condições portuárias, capacidade de construção e reparação navais, grande experiência na fileira alimentar do mar, condições impares para o turismo náutico, emergentes experiência na área da energia offshore, imensas áreas submarinas para cartografar, inúmeras universidades com competências em ciências marinhas e marítimas e exigentes necessidades de garantir o *safety* e o *security* da área, é do interesse do nosso país tirar maior partido dos grandes dados relacionados como o mar. Neste contexto, é necessário acompanhar as melhores práticas de estruturas que entenda os dados como um recurso e cuja governação vá no sentido de aportar valor.

3. O ESTADO DA ARTE NA UNIÃO EUROPEIA

Recentemente foi divulgada a comunicação da Comissão Europeia ao Parlamento Europeu dedicada à *European Strategy for data* (ESD) (Comissão Europeia 2020b). O texto é incontornável no contexto europeu no sentido de sugerir um conjunto de direções macro pensadas para colocar o espaço europeu no centro de uma economia de dados. Identifica claramente o valor económico do recurso informação (Figura 3) e a necessidade de existir um plano estratégico pan-europeu dedicado a este ecossistema.



Fig. 3. Projeções para o mercado de dados em 2025 (Comissão Europeia 2020c).

Em 2019 foi publicada a Open Data Directive (ODD) (Parlamento Europeu 2019) onde aparece explanado o conceito de *high value datasets* (HVD). A diretiva identifica, em particular, os dados geoespaciais como de elevado potencial gerador de valor.
A importância dos HVD na economia é partilhada por 82,2% dos respondentes da consulta pública da ESD coordenada pela Comissão Europeia (CE) que os indicaram como um recurso gerador de impacto positivo na economia da zona Euro (Comissão Europeia 2020e). A ODD recomenda a partilha e reutilização da informação produzida nas instituições do setor público no setor privado, reconhecendo a importância da reutilização da informação como um dos alicerces do *Digital Single Market* (DSM).
É este o contexto externo a ser acautelado pelos produtores de informação geoespacial marinha, privados e públicos. Acompanhado de uma notória intenção de investir e reforçar as capacidades de armazenamento e computação de *cloud* e no desenvolvimento de metodologias de *data science* como solução para os desafios da *big data*.
Um dos desafios associados à manutenção de repositórios com grandes volumes de dados são as questões do financiamento para a manutenção dos mesmos. A federação de repositórios tem sido adotada como forma de partilhar custos e potenciar a reutilização dos dados. No entanto, continuam a existir questões ao nível da justiça na repartição do valor gerado.
Para a problemática da sustentação das infraestruturas é relevante aflorar o conceito de open data entendido muitas vezes como sinónimo de dados gratuitos. Open data é aplicado neste texto como dados que

possuem modelos de licenciamento não restritivos à geração de valor, ou seja, as suas licenças de reutilização não impedem a inovação, nem oferecem constrangimentos à sua reutilização na geração de produtos e serviços de valor acrescentado. Enquanto gestão justa deste recurso, todos os intervenientes devem beneficiar do valor gerado ao longo da cadeia. No que ao setor marítimo diz respeito, o processo científico continua a ser o grande gerador de conhecimento sobre o Oceano e a interação oceano-atmosfera. Observar e medir é crucial para modelar o ambiente e calibrar os modelos meteorológicos e oceanográficos (OCDE 2019, 159).

Os dados foram e continuam a ser a matéria-prima da ciência, mas não só, uma vez que a sustentabilidade inteligente, essencial para garantir a qualidade de vida da Humanidade através da exploração sustentável dos recursos, depende do conhecimento gerado. Como salientado no *Blue Economy Report 2020*, as autoridades públicas precisam de dados com qualidade e resoluções, temporal e espacial, adequadas aos requisitos de decisões informadas e inteligentes e capazes de medir os impactos num desenvolvimento económico e social que se quer sustentável. (Comissão Europeia 2020a, 41)

As recomendações do relatório vão mais longe, identificando claramente a necessidade de existir a coprodução de conhecimento e a reutilização dos dados (dados é visto em sentido lato como dados digitais, informação, conhecimento, algoritmos e código de ferramentas aplicacionais). Os repositórios colaborativos e cooperativos combinam ambientes virtuais de investigação vão continuar a ser considerados a solução para reduzir custos e otimizar recursos. As soluções técnicas estão disponíveis, mas os arranjos organizacionais a fazer, e o almejado sucesso, dependem em muito da governança. (Comissão Europeia 2020a, 58)

4. O ESTADO DA ARTE EM PORTUGAL

O Portal de Dados Abertos da Administração Pública (https://dados.gov.pt/pt/) tem como função agregar, referenciar e alojar dados abertos de diferentes organismos e setores da Administração Pública, constituindo-se como o catálogo central de open data em Portugal. Além de funcionar como um serviço partilhado de alojamento e publicação de dados, que pode ser utilizado por qualquer organismo público, funciona também como um portal indexador de conteúdos alojados noutros portais/catálogos de dados abertos, sejam setoriais ou locais.

Todavia, no que diz respeito a setores específicos, e de alguma forma estratégicos para Portugal como é o caso do setor marítimo, a obtenção de dados que viabilizem decisões inteligentes é complexa.

Com efeito, Portugal apresenta um vasto espaço marítimo de soberania e/ou jurisdição no oceano atlântico (Figura 4). A sua Zona Económica Exclusiva tem uma área de 1.660.456 km^2 que representa em proporção um valor superior a 18 vezes a área do território Nacional emerso. Portugal apresentou em 11 de maio de 2009 a sua proposta de extensão da plataforma continental (PC), reivindicando os direitos consagrados no Direito do Mar sobre um espaço marítimo para cerca de 4 milhões de km^2, ou seja, superior a 41 vezes o território nacional emerso (Pacheco 2013, 22).

Este imenso mar português requer um esforço nacional avultado na recolha cooperativa de dados para gerar o conhecimento necessário ao mapeamento dos recursos e entendimento deste espaço e das suas dinâmicas. Afinal, só é possível proteger aquilo que é conhecido. Há muitas estimativas a apontar o imenso potencial do espaço marítimo nacional, mas o seu real valor continua a ser desconhecido. Em 1415 Portugal iniciou a epopeia dos descobrimentos, hoje, torna-se premente iniciar a epopeia do conhecimento do oceano, alavancado em observações e dados.



Fig. 4. Espaços marítimos de soberania e/ou jurisdição nacional.

Importa, por isso, desenvolver estratégias que mitiguem as situações identificadas e que, em suma, permitam o surgimento de uma verdadeira economia dos dados, com valor para Portugal.

5. ALGUNS CONCEITOS FUNDAMENTAIS RELACIONADOS COM OS DADOS E A SUA IMPORTÂNCIA

Os dados são o elemento base da informação, do conhecimento e da compreensão (Ackoff 1989) e, como tal, devem ser considerados um ativo estratégico crítico das organizações. Ackoff propôs o modelo DIKW (*Data*, *Information*, *Knowledge*, e *Wisdom*) de forma a descrever a relação hierárquica entre dados, informações, conhecimento e sabedoria. A hierarquia DIKW é usada para contextualizar dados, informações, conhecimento e sabedoria, e para descrever a relação e identificar os processos envolvidos na transformação entre estas entidades. A assunção implícita é que a sabedoria é abstraída do conhecimento, o conhecimento da informação e a informação dos dados como matéria-prima. No entanto, vários autores apresentam definições distintas de dados e informação, demonstrando a

importância de definições claras e precisas sobre estes conceitos.

Dados – são os símbolos, por si só não têm significado além de sua existência. Podem-se encontrar em qualquer forma, utilizável ou não. Não tem significado por si mesmo, podem ser vistos como propriedades observáveis e mensuráveis que são representadas em símbolos.

Informação – conjunto de dados a que se associa um contexto ou que foram organizados passando a definir uma estrutura. Podemos ver a informação como o resultado de um processo de refinamento dos dados.

Conhecimento - informações estruturadas e organizadas que resultam de um processo cognitivo de validação, o conhecimento é um processo determinístico.

Sabedoria - é um processo extrapolativo e não determinístico que invoca todos os níveis anteriores envolve também tipos especiais de programação humana tais como códigos morais e éticos.

Metadados - são "dados sobre dados", representam informações sobre as entidades e elementos dos dados. Os metadados são utilizados para tornar outros tipos de dados mais fáceis de usar e/ou interpretar.

Dados abertos (*Open Data*) - conjuntos de dados disponibilizados sob uma licença aberta, permitindo o acesso e reutilização (Folmer et al. 2014). O licenciamento é extremamente importante para formalizar as condições de reutilização dos dados. Em particular, na definição de restrições sob a forma como os mesmos podem ser reutilizados, por exemplo protegendo a sua utilização para finalidades indesejáveis.

Numa perspetiva concetual, num ecossistema dinâmico de geração de valor através dos dados, são identificados quatro pilares (Figura 5) fundamentais para a edificação operacional do modelo, nomeadamente, os **dados**, os **sistemas de informação**, os **standards** e a **governança**, devidamente enquadrados pela inexorável questão da cibersegurança, que é vital para que todo o conjunto funcione com o adequado nível de confiança.



Fig. 5. Pilares das infraestruturas espaciais de dados (adaptado do modelo de infraestruturas de dados espaciais).

A 17 de julho de 2014, a Comissão Europeia publicou uma recomendação sobre o licenciamento de dados do setor público. A Comissão recomenda que todos os estados membros utilizem licenças abertas padronizadas para a publicação de dados do setor público. O modelo de licença *Creative Commons* (Organização sem fins lucrativos que permite a partilha e utilização da criatividade e do conhecimento através de ferramentas jurídicas gratuitas) foi indicada como um instrumento adequado para tal e está a ser utilizado pela própria Comissão.

A relação entre os dados abertos e o seu valor econômico pode ser ilustrada pela hierarquia DIKW. Os dados abertos situam-se na base da hierarquia, a sua disponibilização pode ser vista como a partilha de bits e bytes, criados dentro de um determinado contexto, mas requerendo interpretação estrutural por humanos ou computador para se tornarem informações.

Os metadados definem as regras de interpretação dos dados. Portanto, um aspeto importante dos dados abertos é a necessidade de disponibilização de metadados, que permitam aos seus utilizadores dar significado aos dados e produzir informação. Quando corretamente interpretada e reutilizada, a informação torna-se conhecimento a que se pode associar um valor.

A 19 de fevereiro de 2020, a UE lançou a *European Strategy for Data* (ESD), um pacote de três documentos que definem os elementos fundamentais para a criação da Europa Digital. Um roteiro a cinco anos de políticas públicas, um livro branco sobre Inteligência Artificial (IA) que apresenta o plano para uma nova legislação sobre sistemas de IA transparentes, rastreáveis e controlados por humanos e uma Estratégia Europeia de Dados, uma proposta para a criação de um mercado único europeu de dados. A estratégia de dados é baseada em quatro pilares: ambiente regulatório favorável à partilha de dados; construção de novas infraestruturas, nomeadamente uma federação de sistema *cloud*; aplicação mais rigorosa da regulação de proteção de dados e finalmente a criação de nove espaços de dados que se espalharão por vários setores e áreas importantes, incluindo indústria e manufatura, ambiente, mobilidade, saúde, finanças, energia, agricultura, administração pública e capacidades (*skills*).

Termos como "soberania de dados" e "federação de sistemas *cloud*" não devem estar associados uma interpretação meramente técnica na definição da infraestrutura de dados, estes termos tem uma interpretação política de soberania e federalismo ajustados à organização atual da EU. Eles refletem exatamente o que seu significado implica: unidos numa federação e garantindo uma soberania europeia numa realidade digital que será sempre global. Na última década surgiram novos atores não estatais no ciberespaço (como Facebook, Amazon, Apple e Google) cuja operação não se encontra limitada por fronteiras físicas e em alguns casos têm mais

influência do que seus próprios governos. O crescimento desses atores suscitou alguns receios no espaço europeu, nomeadamente as empresas europeias estão a ficar para trás na economia global baseada em dados. A essência da influência dos atores digitais está retratada no Apple Effect, a Apple vale mais do que as 30 maiores empresas alemãs juntas. Apesar destes receios, a UE, através da nova estratégia digital, está a trabalhar ativamente para recuperar alguma soberania e criar um ambiente de dados seguro para os cidadãos europeus. O projeto Gaia-X(SAMAGAME 2020), que visa criar uma estrutura federada para os dados na União Europeia, combinado com a já supracitada ESD, constituem um exemplo paradigmático desta visão.

De seguida apresenta-se uma proposta de modelo federado de valorização de dados, que integra três conceitos fundamentais: um elevado grau de conformidade com o quadro legal de proteção de dados, o pressuposto é que os dados nunca saiam da instituição; valorização dos dados com base na sua utilização; por fim a aposta em inovação e desenvolvimento na área de extração de conhecimento federado e o desenvolvimento de um "filtro" de privacidade aplicado ao conhecimento gerado. O modelo proposto encontra-se organizado por forma a endereçar os principais desafios, transformando-os em oportunidades de inovação com elevado valor económico e de criação de novos produtos e serviços.

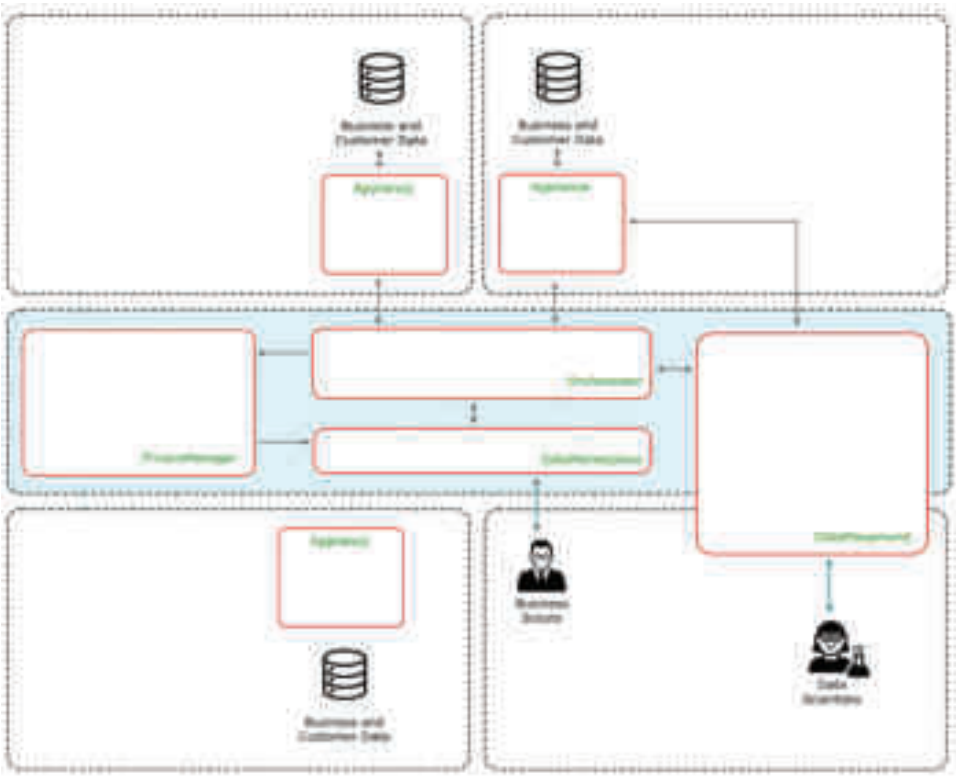


Fig. 6. Desenho concetual de uma solução federada para dar resposta à partilha de dados garantido a sua valorização.

DataMarketplace: plataforma para valorização de dados. Permitirá às organizações valorizar os seus ativos (dados) de forma a que não prejudique a privacidade dos titulares de dados, e, também, que minimize o risco de desvalorização desses ativos, será o front-end para a maioria dos utilizadores da plataforma.

DataPlayground: plataforma com uma *analytics suite* (*dashboards*, *utilities*, APIs, etc.), parte fundamental para a produtividade das organizações na utilização e exploração de dados.

Orchestrator: plataforma que gere a federação de ***appliances*** que contém os dados. Ferramenta nuclear que irá permitir a gestão das ***appliances***. Esta plataforma também irá permitir o cruzamento, privado e seguro, entre ativos de diversas organizações.

Appliance: transforma, manipula e armazena.

Privacy Manager: suíte de métodos que se focam em garantir que as organizações estejam em conformidade com leis e regulamentos de privacidade e proteção de dados, com mecanismos que auxiliam nos processos e atividades do dia-a-dia;

A governança passará pelo estabelecimento de uma organização funcional, federada e colaborativa, capaz de trabalhar os pilares indicados atrás. Como a literacia dos dados é fundamental foi identificado um pilar orientado a esta questão. Assim, para a economia do mar, propõe-se a visão concetual e macro da infraestrutura de dados espaciais marinhos que deverá passar por um esforço colaborativo, com

primazia na coprodução e partilha de benefícios. Começando pela constituição de várias comissões com representantes dos setores da economia azul e ativos produtores de conhecimento azul (Figura 7).



Fig. 7. Visão concetual da governança da infraestrutura nacional de dados espaciais marinhos.

Após análise do estado da arte e uma reflexão sobre as problemáticas envolvidas os autores consideram que os modelos esquematizados nas Figuras 6 e 7 são um bom ponto de partida para lançar a discussão. O futuro mercado de dados regulado será complexo e as soluções nunca serão óbvias. Todavia, este é um primeiro contributo no caminho na procura de uma solução para um modelo de governação federado e justo.

6. CASO DE USO PARA O SETOR DO MAR

O Instituto Hidrográfico (IH) é um laboratório de estado e serviço hidrográfico nacional com a missão de assegurar as atividades de investigação e desenvolvimento tecnológico relacionadas com as ciências e as técnicas do mar, designadamente nas áreas da hidrografia, da cartografia hidrográfica, da segurança da navegação, da oceanografia e da defesa do meio marinho. Tem a responsabilidade de participar no desenvolvimento de técnicas de analítica que potenciem o desenvolvimento tecnológico e económico no setor do Mar, conhecer os fenómenos do espaço marítimo de interesse nacional e apoiar o avanço científico.

Ao longo da sua história desenvolveu um repositório de dados geoespaciais do oceano com grande potencial no contexto da economia azul e do mercado de dados. As observações *in situ* e as redes de monitorização são investimentos de enorme valor para a ciência, e os dados observados são ativos do estado português.

O IH tem uma visão estratégica orientada para o futuro e alinhada com as principais dinâmicas da Década dos Oceanos, da economia azul, da diretiva quadro de estratégia marinha e da transformação digital. Os programas em curso estão orientados à observação e previsão do oceano, à experimentação e inovação e à partilha de dados (Figura 8). Desta forma o IH enquanto laboratório com âmbito nacional pretende dar um contributo ativo para o conhecimento do mar português (Soares 2020, 77-94).

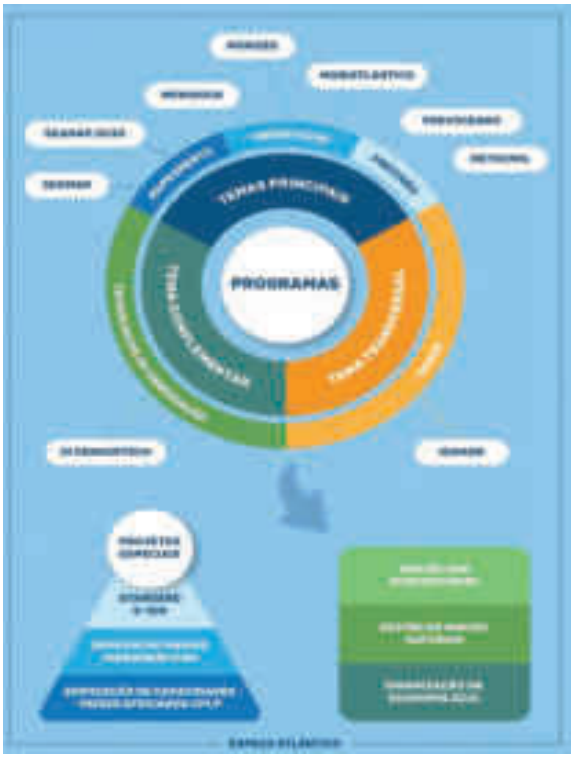


Fig. 8. Mapa estratégico do IH para a I&D no Oceano.

Ao longo de vários anos o IH desenvolveu uma rede de monitorização permanente e de âmbito nacional (Figura 9). Através de projetos de I&D foi possível adquirir de forma faseada e continuada os sensores que constituem a rede. A manutenção da mesma tem sido suportada pelo orçamento próprio e o apoio da Marinha.

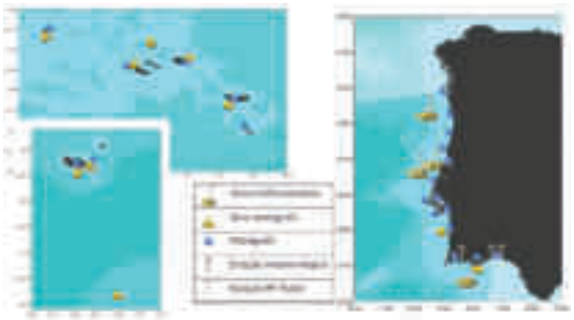


Fig. 9. Rede de monitorização do Instituto Hidrográfico.

A rede é constituída por sensores de observação instalados na zona costeira de Portugal Continental, Arquipélago dos Açores e Madeira. Este sistema integra-se no programa MONIZEE (monitorização da zona económica exclusiva). O MONIZEE é constituído por uma rede de marégrafos (19) instalados em diversos portos nacionais, cinco boias oceanográficas multiparamétricas (meteorologia e oceanografia) ao largo do continente (Leixões, Nazaré (2), Sines e Faro), 11 boias ondógrafo (algumas geridas por parceiros), 6 estações radar HF

para observação de correntes e agitação marítima na zona norte, centro e sul ao largo do continente. Esta rede de sensores gera um fluxo contínuo e permanente de *Near Real Data* fundamental para o conhecimento dos fenómenos e proteção das infraestruturas e pessoas. Os dados são continuamente sujeitos a processos de controlo e validação com o objetivo de gerar informação de elevada qualidade aos utilizadores finais. Os processos de análise e exploração de dados através de inteligência Artificial (IA) vão oferecer um conjunto de novas técnicas que permitem melhorar a qualidade dos dados observados de uma forma mais eficiente.

Devido às suas diversas vertentes e responsabilidades o IH é um ativo produtor de informação geospacial e participa em várias redes de partilha de dados de nível nacional (SNIG), europeu (INSPIRE, SeaDataNet, EMOdnet, etc.) e internacional (OHI, IOC/IODE, etc.). A partilha e reutilização de dados é enquadrada pelo programa IDAMAR. Através das linhas de ação deste programa o IH procura manter-se alinhado com as melhores práticas e procedimentos ao nível das infraestruturas de dados, da gestão e partilha de informação geoespacial marinha. Busca continuamente a eficiência na exploração de dados para a produção do conhecimento implementando protocolos e serviços de interoperabilidade orientados à automatização *machine to machine*. A *data science* tem emergido como uma ferramenta de inovação destinada à exploração de processos e à reutilização de informação.

A partilha de dados tem sido desenvolvida seguindo os conceitos associados às infraestruturas espaciais de dados marinhos, orientadas aos serviços de rede de *application programming interfaces* (API). A arquitetura orientada a serviços de rede permite desenvolver novos serviços de apoio decisão e novas formas de produção de conhecimento, explorando o fluxo contínuo de dados e a disponibilidade dos mesmos.

A *open data directive* classifica a informação geoespacial com dados de especial interesse pelo seu potencial gerador de valor. O IH enquanto produtor de informação geoespacial e entidade responsável para cartografia hidrográfica de base tem responsabilidades na implementação desta diretiva na sua esfera de atuação. A reutilização pelo setor privado dos dados e informação geoespacial marinha produzida no IH irá dinamizar a economia nacional e as cadeias de geração de valor do mercado de dados digitais.

No papel de serviço hidrográfico nacional é responsável pela produção de cartas náuticas oficiais, em papel e em formato digital, e pela coordenação nacional da informação de segurança marítima. Está envolvido em dois processos indutores de mudanças profundas na organização e disseminação de informação hidrográfica. A implementação do modelo de dados universal S-100 (Figura 7), coordenado pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) e a iniciativa *eNavigation* na responsabilidade da *International Maritime Organization* (IMO). Estas ações internacionais vão potenciar a criação de um ecossistema de serviços para os múltiplos atores da comunidade marítima. A inteligência artificial será uma componente que permitirá construir serviços mais precisos e mais eficientes para a comunidade.



Fig. 10. Universal Hydrographic Data Model S-100 (OHI 2020)

6.1 Caso de uso - Roteiros Digitais de Navegação

Os desenvolvimentos tecnológicos permitem pensar hoje na operacionalização de sistemas que faziam parte da ficção científica. Um dos campos de profícua atividade é o desenvolvimento de sistemas de realidade aumentada que beneficia dos fluxos contínuos de informação fidedigna atualizada em tempo real.

O modelo de dados S-100 combinado com a iniciativa *eNavigation* vão introduzir as bases para o desenvolvimento de sistemas de navegação que integram fluxos de dados produzidos pelos sensores dos navios com informação proveniente de estações costeiras. Estes novos paradigmas vão alavancar o desenvolvimento de sistemas de navegação imersiva com base em realidade aumentada.



Fig. 11. Visão futurística da navegação marítima em realidade aumentada (Maritime Cyprus 2020).

Neste enquadramento considera-se que existe espaço para dinamizar um caso de estudo que visa o desenvolvimento de uma aplicação móvel de navegação em realidade aumentada (Figura 11). Este sistema beneficiará da integração de dados cartográficos e dos roteiros de navegação produzidos pelo Instituto Hidrográfico, combinados com

informação de previsão meteorológica e oceanográfica. Além destes elementos primários pode ser considerada a integração de informação turística orientada à localização do dispositivo - *Location based services* (LBS). A integração de múltiplos serviços de dados é uma das vantagens identificadas nas infraestruturas federadas.



Fig. 11. Mockup de uma aplicação móvel de realidade aumentada orientada aos navegadores de recreio.

Os sistemas de realidade aumentada (Figura 12) são exemplos com potencial económico que beneficiam das infraestruturas federadas de dados. A interoperabilidade e a integração de múltiplas fontes e formatos são problemas complexos a resolver para maximizar os benefícios decorrentes destas iniciativas.

6.2 Caso de uso – Inteligência Artificial para a segurança da Navegação

A costa ocidental portuguesa pode ser caracterizada como uma área onde conflui uma quantidade assinalável de navegação, especialmente aquela que navega entre o Atlântico Sul, o Mar Mediterrâneo e a Europa do Norte. Estes navios estão usualmente expostos a situações meteorológicas desfavoráveis bem como condições severas de mar. A capacidade de prever as condições meteorológicas e oceanográficas é critica para a atividade da pesca, exercida maioritariamente por uma frota de embarcações de pequena arqueação.
Facultar o acesso à informação do estado do mar em tempo real e a resultados de modelos de previsão de alta resolução, combinada com modelos analíticos que integram múltiplas dimensões, são uma forma de apoiar a tomada de decisão dos operadores portuários. No âmbito do projeto SIMOCEAN (Consórcio SIMOCEAN 2020) os investigadores do IH combinaram os resultados de um modelo costeiro de alta resolução na zona de aproximação aos portos (Viana do Castelo, Póvoa do Varzim, Aveiro e Figueira da Foz) com as previsões meteorológicas. Esta abordagem permitiu calcular um índice que expressa os constrangimentos esperados na entrada de cada porto. Para estabelecimento do índice do estado do mar foi implementada e testada uma rede neuronal com uma camada oculta (Figura 13). Como dados de entrada da rede foram utilizados resultados do modelo operacional de alta resolução para os domínios costeiros (SMARTWAVE) desenvolvido no IH combinados com os resultados do modelo regional atmosféricos (AROME) implementado pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). Do processo metodológico resulta um índice que apoia as decisões das autoridades responsáveis pela gestão das barras (Figura 13).

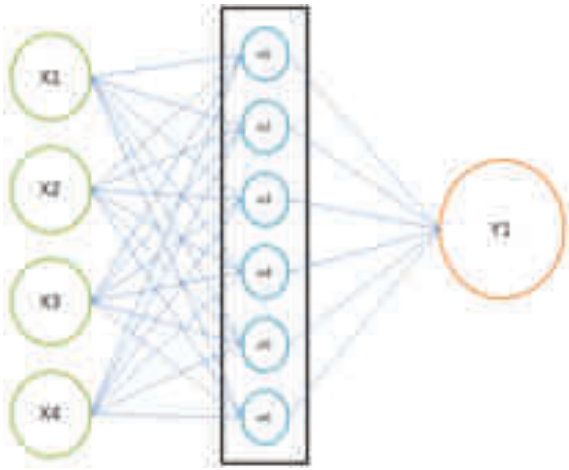


Fig. 12. Esquematização da rede neuronal utilizada no âmbito do projeto SIMOCEAN.

Os serviços de analítica exploram a aprendizagem automática e inteligência artificial são um campo de conhecimento em rápida expansão. Numa sociedade que obriga a decisões céleres e na qual os atores lutam pela primazia da informação, a capacidade de explorar a velocidade das operações associadas aos computadores nas decisões tornar-se-á necessariamente uma vantagem competitiva. Neste contexto poderá ser desenvolvido um caso de estudo destinado a explorar a analítica e aprendizagem das máquinas para melhorar a segurança marítima.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados, a informação e o conhecimento são geradores de valor para a sociedade em geral e carecem de ser devidamente geridos ao longo do respetivo ciclo de vida, do modo a que possam ser acedidos com confiança e em linha com as melhores práticas internacionais para este propósito.
Neste contexto, julga-se que importa desenvolver em Portugal uma estrutura de *governance* para os dados e para a informação, a qual, em linha com o preconizado na ESD, permita a utilização da informação decorrente daqueles dados de forma regulada. Esta regulação deverá permitir tirar valor dos dados, sem a sua transferência efetiva. Desta forma aquela disponibilização será efetuada através de serviços que os setores públicos e privados poderão aproveitar através de um modelo federado, multidisciplinar e alinhado com o preconizado naquela estratégia. Este processo, devidamente enquadrado por um conjunto adequado de políticas públicas, permitirá ganhos mútuos para os proprietários dos dados, para os seus utilizadores e para a sociedade em geral. Este ecossistema será promotor de confiança na utilização desses dados e

sobretudo acrescentará valor à sociedade, sendo assim geradora de mais valias para a economia.

Os atores que constituem a economia azul estão dependentes de dados marinhos que lhes permitem entender o ambiente onde operam e indicadores económicos e sociais que os ajudam a tomar as melhores decisões no ambiente complexo em constante mudança. São muitas as partes interessadas na geração de dados e consumo dos produtos derivados. Este contexto conduz à necessidade de desenvolver estruturas colaborativas e federadas devidamente organizadas debaixo de uma mesma visão. Com esse objetivo a governação dos dados e das interações permitirá à sociedade em geral tirar o máximo rendimento (perspetiva económica) ou obter o máximo benefício (perspetiva societal e ambiental) dos dados.

Historicamente, Portugal sempre foi uma nação virada para o mar. Hoje, o mar continua a assumir um papel fundamental no nosso desenvolvimento coletivo e nos setores nacionais da economia azul. Esta relação entre Portugal e o mar irá certamente prosperar com base em dados marinhos e como tal torna-se importante Portugal assumir, desde já um papel ativo na construção do mercado digital.

As Nações Unidas desenvolveram um modelo que permite medir e orientar a ação global no sentido da sustentabilidade – os objetivos de desenvolvimento sustentável. O modelo obedece a vários indicadores cuja quantificação depende de dados. Também aí o oceano faz parte das preocupações através do ODS14. Como amplamente explanado ao longo do texto vivemos o início da Década da Ciência do Oceano (2021-2020) que é marcada pela necessidade de melhorar o conhecimento sobre o oceano, reconhecendo-se que só dessa forma será possível fazer uma exploração sustentável dos recursos e garantir um futuro. O conhecimento do oceano será necessariamente alavancado por dados e observações. Como tal urge desenvolver mecanismos colaborativos e cooperativos que permitam maximizar o valor dos dados azuis nacionais produzidos e mantidos em diversos atores públicos e privados.

Após análise do estado da arte e uma reflexão sobre as problemáticas envolvidas os autores consideram que os modelos esquematizados nas Figuras 6 e 7 são um bom ponto de partida para lançar a discussão.

Tendo consciência que se trata de uma tarefa complexa, afigura-se que, dado o alto valor que já existe em Portugal no âmbito dos dados no setor do Mar, se poderia iniciar o processo neste importante setor e assim ganhar experiência para depois se instanciar e alargar o modelo para outros setores da sociedade.

REFERÊNCIAS

Ackoff, R. L. (1989). "From Data to Wisdom." Journal of Applies Systems Analysis 16.

Comissão Europeia (2020a). 2020 Blue Economy Report: Blue sectors contribute to the recovery and pave way for EU Green Deal.

Comissão Europeia. (2020b). "European data strategy, Making the EU a role model for a society empowered by data." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-data-strategy.

Comissão Europeia (2020c). A European strategy for data. COM/2020/66 final.

Comissão Europeia (2020d). Mission Starfish 2030: Restore our Ocean and Waters.

Comissão Europeia. (2020e). "Summary report of the public consultation on the European strategy for data." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/summary-report-public-consultation-european-strategy-data.

CSIS. (2019). "Japan's Data Governance Reforms Face Challenges across the G20 " Acedido em setembro, 2020, no endereço http://www.cogitasia.com/japans-data-governance-reforms-face-challenges-across-the-g20/.

Folmer, E., M. Reuvers and W. Quak (2014). Pilot Linked Open Data Nederland: Deel 1 - Het managementoverzicht. Amersfoort, Linked Open Data.

Harper, S. (2016). UKHO International Hydrographic Development Projects.

Maritime Cyprus. (2020). "Research for Augmented Reality in the Maritime Industry." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://www.maritimecyprus.com/2020/05/29/research-for-augmented-reality-in-the-maritime-industry/.

Nações Unidas (2015). Summary of the first global integrated marine assessment.

Nações Unidas. (2019). "United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://www.oceandecade.org/.

Nações Unidas. (s.d.). "SDG 14 - Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development " Acedido em setembro, 2020, no endereço https://sdgs.un.org/goals/goal14.

OCDE (2016). The Ocean Economy in 2030.

OCDE (2019). Rethinking Innovation for a Sustainable Ocean Economy.

OHI. (2020). "S-100 Universal Hydrographic Data Model " Acedido em setembro, 2020, no endereço https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model.

Pacheco, M. B. (2013). Apontamento - Medidas da Terra e do Mar. I. Hidrográfico.

Parlamento Europeu (2019). Open data and the re-use of public sector information. DIRECTIVE (EU) 2019/1024.

SAMAGAME. (2020). "GAIA-X: a ambiciosa plataforma de nuvem da França, Alemanha e 22 grandes empresas europeias para escapar da Amazon, Microsoft e Google." Acedido em outubro, 2020, no endereço https://samagame.com/pt/gaia-x-a-ambiciosa-plataforma-de-nuvem-da-franca-alemanha-e-22-grandes-empresas-europeias-para-escapar-da-amazon-microsoft-e-google/.

Soares, C.-a. C. V. (2020). O Conhecimento científico do Oceano. Instituto Hidrográfico, conhecer o mar para que todos o possam usar. Cadernos Navais. C. d. E. E. d. Marinha.

United Nations. (s.d.). "Sustainable Development Goals." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/.

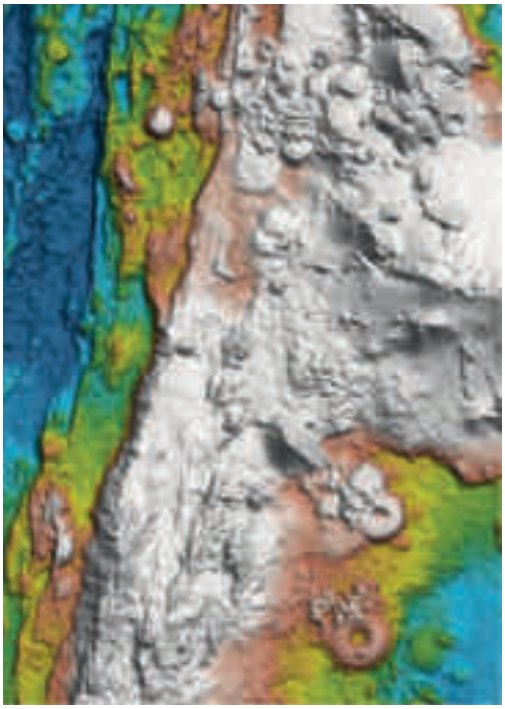
Wilkinson, M. D., M. Dumontier, I. J. Aalbersberg and et. al. (2016). "The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship." Scientific Data.

World Economic Forum. (2020a). "Data is the new gold. This is how it can benefit everyone – while harming no one." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://www.weforum.org/agenda/2020/07/new-paradigm-business-data-digital-economy-benefits-privacy-digitalization/.

World Economic Forum (2020b). New Paradigm for Business of Data.

HIDROGRAFIA

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Determinación precisa de la red hidrográfica de Galicia

Fariña, A. (1); Suárez, J. R. (1)

(1) Instituto de Estudios do Territorio. Xunta de Galicia. scit.cmati@xunta.gal

Resumen: Los más de 51.900 km que componen la red hidrográfica de Galicia y que discurren en numerosas ocasiones encauzados, mientras que en otros lugares aparecen ocultos bajo pasos subterráneos o entre coberturas arbóreas, ha hecho que tradicionalmente resultase muy difícil su correcta definición geométrica. Mediante la metodología diseñada por el Instituto de Estudos do Territorio de la Xunta de Galicia hemos tratado de acercarnos a lo que se podría considerar como una determinación precisa del trazado de la red. Para ello, se ha empleado como principal información de partida las nubes de puntos procedentes de vuelos LIDAR, y estableciendo un flujo de trabajo en el que podemos destacar: la creación de un MDT preciso, la detección y eliminación de obstáculos, el "quemado" del modelo con datos existentes, la generación de rellenos o la definición de cauce por umbral de flujo, para rematar con una edición manual de la red. Se diseñó paralelamente una herramienta de revisión *on line* para que la guardería fluvial pudiese validar y revisar aquellos tramos de confusa interpretación. Se completa el proyecto desde un punto de vista semántico añadiéndole a la red atributos procedentes de varias bases hidrográficas.

Palabras clave: cartografía, DEM, hidrografía, LiDAR, red hidrográfica.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación precisa de la red higrográfica de Galicia siempre ha sido, y continúa siendo una tarea demandada desde los distintos organismos de cuenca que gestionan el dominio hidráulico en nuestra comunidad. Se puede comprender la complejidad de la tarea cuando uno recuerda la definición que del territorio gallego hacía el escritor Álvaro Cunqueiro al denominarlo como "El País de los mil ríos".

Tal y como se indica en las especificaciones de producto IGRg.HIv1.0 (Sevilla,C. *et al, 2016*). "Poder disponer de información hidrográfica de referencia representa una de las necesidades básicas en la elaboración y mantenimiento de cualquier conjunto de datos con componente espacial, ya que, debido a su carácter vertebrador, permite referenciar y localizar información de forma única. En particular resulta una fuente de datos fundamental en los análisis geográficos e hidrológicos de un territorio".

1.1. Ámbito geográfico

Galicia se enmarca entre los 41º y 44º de latitud norte, en una posición excéntrica dentro del continente europeo que la sitúa en una encrucijada de diversas masas de aire que le confieren una extraordinaria variedad de tipos de tiempo. Esta posición, en el noroeste de la Península Ibérica, le proporciona un marcado carácter oceánico, que se traduce en una apreciable suavidad térmica, ambientes húmedos y precipitaciones abundantes en su mayoría, excepto el Sil Superior que oscila entre oceánico y mediterráneo continental. La franja montañosa en la zona interior de Galicia, actúa como barrera frente a las depresiones procedentes del oeste, productoras de grandes lluvias, lo que hace más secas las tierras del interior.

Las cuencas de las cuatro provincias gallegas abarcan una superficie de unos 29.574 km² en los que se asientan 2.700.000 habitantes, fluyendo sus ríos a dos grandes vertientes: la atlántica (mayoritaria) y la cantábrica. Los grandes ríos captores son el Miño (310km) y su principal afluente el Sil (228km) que se han ido interiorizando en los montes gallegos y en la cordillera cantábrica, estructurando una red que, en la actualidad, cubre una buena porción de la parte del macizo hercínico conocido como la "rodilla astur". En la zona de costa la presencia de sierras formando una orla entre la costa y el interior propicia la formación de ríos de corto recorrido salvo el Tambre (134 km) y el Ulla (126km) que nacen en áreas de relieve más llanas y recorren sectores de horizontes amplios *(Augas de Galicia, 2015*).

1.2. Objeto

Nos centraremos exclusivamente en este documento metodológico en la exactitud posicional del eje de la red determinada y en la que se han modelado los fenómenos como elementos lineales. Buscaremos explicar a través de este documento el proceso llevado a cabo por el *Instituto de Estudos do Territorio* para el determinación de la geometría de la red, y las particularizaciones con respecto a otros trabajos similares (Maderal, E.N. , 2016) (Li, Z., 2014). La explicación de la metodología seguida se estructura en 3 fases en las que se va incrementando la precisión geométrica de forma progresiva: una automática, una edición manual y una última revisión de campo mediante una herramienta web diseñada *ad hoc*. El fin último es obtener una red

continua a la vez que topológica e hidrológicamente correcta en 3D.

2. PROCESOS AUTOMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RED INICIAL

2.1. Elaboración del MDT de origen

Para la elaboración del "MDT origen" se emplearon los datos LiDAR del vuelo efectuado durante los años 2009 y 2010 dentro del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).Se pueden destacar como características fundamentales de este conjunto de datos, el error<=0,4m (95%), emcXY<=0,3m y emcZ<=1,5m. El escoger esta cobertura con respecto a otras de la serie PNOA fue debido a que ésta se voló durante los meses de invierno. Consideración ésta a tener en cuenta en un territorio como Galicia en el que existe una gran superficie de masas arbóreas caducifolias, aumentando así el número de puntos LiDAR que llegan en al suelo, y por lo tanto, consiguiéndose una mejor definición del terreno.
Con estos datos se generó un MDT de 1m de tamaño de píxel. A pesar de que los datos LiDAR utilizados a priorí no tenían la suficiente densidad para elaborar un MDT de esta resolución, desde el IET "forzamos" la precisión del modelo, habida cuenta de que la densidad real de puntos fue mayor a la solicitada en el proyecto PNOA, alcanzándose valores de entre 0,7 y 0,9 puntos/m².

2.2. Proceso de detección y eliminación de obstáculos.

La complejidad de la red hidrográfica en Galicia hace muy difícil la digitalización de la misma ya que la orografía, la vegetación, la fuerte antropización de del territorio que se manifiesta mediante el minifundio o la profusión de elementos constructivos como puentes, acequias y pasos subterráneos de cauces de agua, dificultan la labor. Se ha de tener presente que muchos de los puentes fueron clasificados correctamente en el procesado de datos LiDAR, pero otros muchos (de menor tamaño) fueron clasificados dentro de la clase 2 (suelo). Además, las acequias y pasos subterráneos de agua no se encuentran entre las clases contempladas en la clasificación más habitual del LiDAR (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS). Los fenómenos citados pueden crear falsos obstáculos en el modelo que a su vez producen desviaciones en el trazado de la red. Se explican en los siguientes puntos cómo tratamos de solucionar las dificultades planteadas mediante un doble tratamiento realizado con el software ArcGIS.

2.2.1 Detección de obstáculos nº1

En este primer paso empleamos los datos de la cartografía base a escala 1/10.000 (BTG10) correspondientes a la red viaria y al ferrocarril:
-Seleccionamos las zonas elevadas de la red viaria y del ferrocarril (atributo Situación=ELE).
-Calculamos los buffers sobre estas zonas. El ancho de cada buffer dependerá de la entidad y tipo de vía, oscilando estos desde los 8 a los 15m.
-Asignamos a cada polígono el valor mínimo de cota a partir de MDE, obtenido al restarle 2 metros al "MDTde origen".

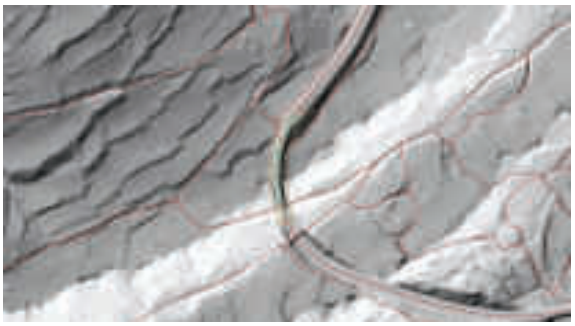


Figura 1: Delimitación de zonas elevadas

Con esta secuencia obtenemos unos polígonos con un valor de cota mínima que utilizaremos posteriormente como restricciones a la hora de crear un "Modelo Hidrológico del Terreno".

2.2.2 Detección de obstáculos nº2

En este segundo paso utilizamos análisis ráster y vectorial:
-Realizamos un proceso de rellenado a partir del "MDT de origen" mediante la herramienta "Fill" de ArcGis.
-A este "MDT Fill" le restamos el "MDT de origen", con lo que conseguimos detectar las zonas endorreicas y de obstáculos.
-Vectorizamos estas zonas (aquellas que tengan más de 1 metro de diferencia de cota).
-A partir de los recintos obtenidos creamos unas áreas de influencia (buffer) de 15 metros.
-Hacemos una intersección espacial entre estas zonas y la BTG10 (red viaria y FFCC).

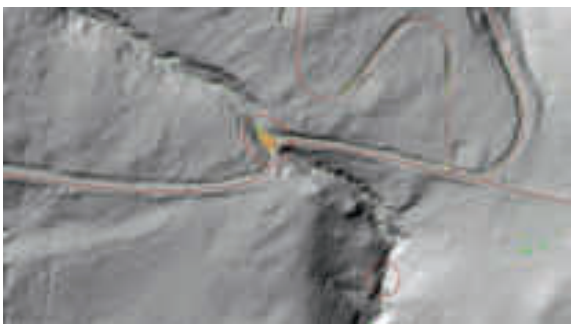


Figura 2: Vectorización y buffer de zonas de relleno

-Calculamos los buffers sobre estas zonas. El ancho de cada buffer dependerá de la entidad y tipo de vía, oscilando estos desde los 8 a los 15m.
-Asignamos a cada polígono el valor mínimo de cota a partir del MDE obtenido al restarle 2 metros al "MDTde origen".
Con este proceso obtenemos unos polígonos con un valor de cota mínima que utilizaremos

posteriormente como restricciones a la hora de crear un "Modelo Hidrológico del Terreno".

2.3. Cálculo de un nuevo "MDE constreñido".

Creamos un nuevo MDE a partir de las clases 2 (suelo) y 6 (edificación) del LiDAR, pero incorporando las restricciones calculadas en los 2 puntos anteriores (obstáculos nº1 y nº2). En estas zonas de restricción no se tuvieron en cuenta los datos LiDAR y se asignó al MDE el valor de Z mínima calculada en los puntos 2.2.1 y 2.2.2.
De esta manera obtuvimos un modelo del terreno en el que desaparecieron gran parte de los obstáculos.

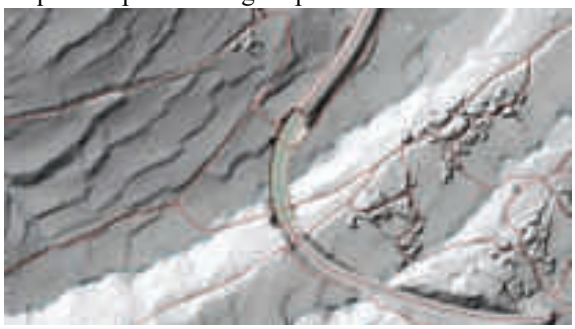


Figura 3: Eliminación de obstáculos

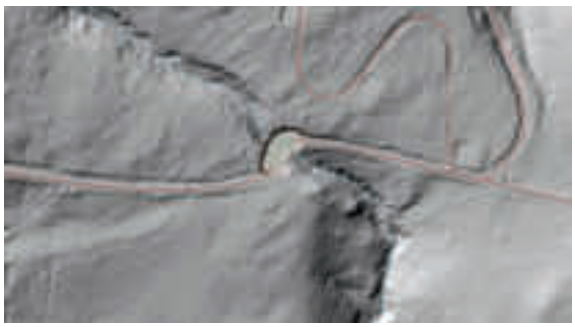


Figura 4: Eliminación de obstáculos

2.4. Utilización da la capa de hidrografía tipo área de la Base Topográfica BTG10.

Desde el IET digitalizamos de forma manual y mediante fotointerpretación las masas de agua y la red de ríos tipo área para su incorporación a la BTG10. Partiendo de estas capas de tipo área, se continuó con las siguientes operaciones:
-Con FME calculamos a línea central (eje) de estas áreas.
-Pasamos a 3D las masas interpolándolas con el MDT bajado en cota 2 metros.
-Transformamos a 3D los ejes interpolándolos con un MDT bajado en cota 3 metros.
-Elaboramos un TIN con estas entidades 3D (áreas y eje).
-Transformamos el TIN a un MDE de 1 metro de píxel.

2.5.Elaboración de un Modelo Hidrológico del Terreno.

Para la creación de este "Modelo Hidrológico del Terreno" "quemamos" el "MDE constreñido" (punto 2.3) con el MDE creado en el punto 2.4 (a partir de las masas de agua).

2.6.Cálculo de la red hidrográfica y vectorización.

Partiendo del "Modelo Hidrológico del Terreno" se hizo un rellenado ("Fill"), con la intención de conseguir un fluido constante en todas las celdas del modelo, evitando la existencia de sumideros.
Se calculó el ráster de direcciones de flujo ("Flow Direction") y de acumulaciones de flujo ("Flow Accumulation"), reclasificándolo para las zonas con una acumulación superior a 10ha; valor determinado mediante trabajo de campo en la cuenca del río Eume por los técnicos de Augas de Galicia. Posteriormente se verificaron las cabeceras de los ríos en otras cuencas comprobándose su validez. Por último, y para rematar las operaciones efectuadas en la fase automática, se procedió a la vectorización inicial de la red mediante la herramienta "Stream to Feature".

3. PROCESO DE EDICIÓN MANUAL

Tras la ejecución de las secuencias anteriores, seguimos encontrándonos con la existencia de tramos que no concuerdan con la realidad debido a la compleja realidad territorial existente. Una gran parte de estos problemas se resolvieron mediante una revisión manual de toda la red a través de la fotointerpretación de las diferentes series temporales de ortofotos disponibles, así como de los mapas de sombras obtenidos a partir del MDT original. En este proceso de revisión también se dispuso como material de apoyo de los mapas de sombras del MDT (1 metro de píxel) generados a partir del vuelo LiDAR posterior (2015-2016) y del cálculo del índice de agua NDWI sobre las ortofotos del PNOA2017. Además, se utilizaron otras fuentes de información complementarias como: fotos oblicuas, StreetViewer, mosaico del vuelo del 56…

4. HERRAMIENTA DE REVISIÓN EN CAMPO

A pesar de esta revisión y edición manual, comprobamos que seguíamos teniendo casos que quedaban sin resolver.

Para dar solución a estas zonas dudosas, se optó por la revisión de campo mediante el desarrollo de una aplicación web de mapas que facilitase tanto la localización de estas indeterminaciones, como transmitir las incertidumbres planteadas por los operadores de gabinete a modo de texto descriptivo. Una vez analizado cada caso por parte de la guardería fluvial, a ésta se la dota de la capacidad de digitalizar e informar a través de la propia aplicación, bien en tiempo real o en postproceso, de los tramos comprobados *in situ*.

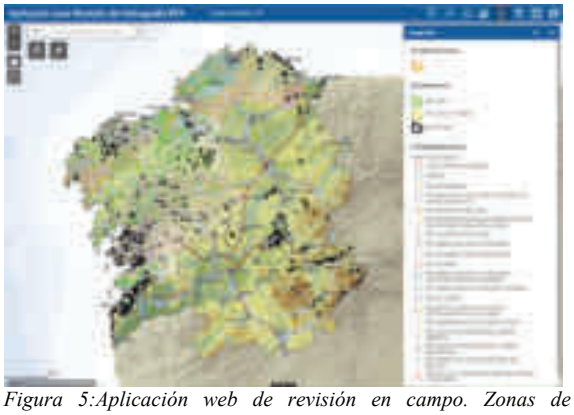


Figura 5:Aplicación web de revisión en campo. Zonas de revisión.

En un principio se definieron en gabinete unas 1.500 zonas de revisión en las 4 demarcaciones hidrográficas existentes en Galicia. En la actualidad, ya hay revisadas más de 400 zonas, todas ellas en la Demarcación Hidrográfica de Galicia Costa.
A petición del personal involucrado en la revisión, se ha incorporado la opción e incluir incidencias detectadas fuera del ámbito de las ventanas de inicialmente previstas, sumándose a ellas 72 nuevas zonas definidas y editadas por los agentes fluviales.



Figura 6:Aplicación web de revisión en campo. Modo edición.

La edición finaliza al integrase estos datos con los procedentes de vuelos de drones a los que se han embarcado distintos sensores.

5. CONCLUSIONES

La precisión de la generación automática de la red de arroyos depende esencialmente de la calidad de los datos LiDAR de partida, de la clasificación de estos y de contar con una buena cartografía de referencia.

A pesar de las ventajas de la clasificación automática, cuando buscamos precisiones por debajo de los 5m, al día de hoy se vuelve imprescindible la edición manual en primera instancia y la visita a campo en muchas de las zonas más alteradas por el hombre, en los terrenos más llanos y en aquellos lugares en los que la vegetación de ribera perjudique la correcta clasificación del LiDAR como suelo.

También se han constatado las ventajas de los vuelos LiDAR de invierno en nuestras latitudes para la determinación precisa de la red hidrográfica

Agradecimientos

Queremos transmitir nuestro agradecimiento al personal de Augas de Galicia por el trabajo que están realizando en la revisión en campo de los tramos dudosos y a las horas dedicadas a la digitalización manual la red por parte de nuestros compañeros del Instituto de Estudos do Territorio.

REFERENCIAS

Augas de Galicia (2015). Plan Hidrolóxico Galicia-Costa 2015-2021. Capítulo 2.

Maderal, E.N. *et al* (2016). Automatic River Network Extraction from Lidar Data.ISPRS, *Commission WG VIII/4-Water Resources*, 8, 919-922.

Merkel W *et al* (2008). NRCS GeoHydro–A GIS interface for hydrologic modeling. Comput & Geosciences 34(8):918–930

Li, Z.(2014)Watershed modeling using arc hydro based on DEMs: a case study in Jackpine watershed. Environmental Systems Research

Sevilla, C. et al (2016). IGRg.HI.v1.0 Especificaciones de datos de Hidrografía conforme a INSPIRE y LISIGE.

Towards the establishment of a reference hydrographic surface (RHS) in Spanish waters: Application and validation of CMEMS IBI-Reanalysis data

González, C. J. (1); Torres, J. R. (1); Bernárdez, P. (1); Ramos, R. J. (1)

(1) Division of Naval Support and Oceanography, Marine Hydrographic Institute (IHM), Spanish Navy. Plaza San Severiano 3, 11007 Cadiz, Spain. Corresponding author email address: carlosjose.gonzalez@uca.es.

Abstract: Sea-level reanalysis data fields from the Iberia-Biscay-Ireland Monitoring and Forecasting Center (IBIre), in the framework of the Copernicus Marine Environment Monitoring System (CMEMS), were analyzed and validated with tide-gauge and vertical positioning data from 118 stations, in order to establish a reference hydrographic surface (RHS) for ellipsoidally referenced surveys in Spanish waters, for both the Iberian Peninsula (IPD) and Canary Islands (CID) domains. The errors between observed and IBIre values in IPD were about 10 cm for the lowest tidal range, plausibly due to local features not resolved by IBIre, and 3 cm in CID. Regarding the ellipsoidal heights of the lowest sea-level, the errors were about 10 cm (IPD) and 7 cm (CID). Complementary validations with satellite MDT products showed errors below 5 cm. IBIre sea-level data have revealed to be of enough quality to constitute a reliable basis for an operative RHS in Spanish waters.

Keywords: coastal hydrodynamics, data validation, reanalysis, sea-level, vertical reference.

1. INTRODUCTION

The recent development of accurate geo-positioning by Global Navigation Satellite Systems (GNSS) has had direct application to modern Hydrography during the last two decades. The availability of precise measures of ellipsoidal and/or orthometric heights (i.e., vertical positions respect to reference ellipsoid and geoid, respectively) during hydrographic surveys has provided a new approach to the expression of sounding depths and the definition of the datum in nautical charts. In that respect, the International Federation of Surveyors (FIG) recommends the use of ellipsoidal heights for the establishment of vertical references (FIG, 2006), such as the reference hydrographic surface (RHS), and the hydrographic services of different countries have been facing the problem during the last years (see, e.g., Dodd and Mills, 2011; Turner et al., 2013; Yang et al., 2013; Slobbe et al., 2018). In waters of Spanish jurisdiction, this task is officially carried out by the Marine Hydrographic Institute of the Spanish Navy (IHM). The correct determination of ellipsoidally-referenced RHS allows for the production of seamless vertical data sets (IHO, 2018) and an unambiguous transition between the official chart depths determined by IHM and the terrain altitudes established in Spain by the National Geographic Institute (IGN). In that respect, the International Hydrographic Organization (IHO) recommends the use of the lowest astronomical tide surface (LAT, which arises from the tidal harmonic prediction for a 19-year nodal period; see Godin, 1972) as the basis of the RHS (IHO, 2005), which is the main objective of this work. Here, open-access modeling-reanalysis products are processed and validated with field data from coastal tide-gauge stations, in order to constitute a basis for the RHS in Spanish waters.

2. METHODOLOGY

In Figure 1, the different levels and vertical references used throughout this study are defined and schematized. The chosen reference ellipsoid and geoid were, respectively, the World Geodetic System 1984 (WGS84; NIMA, 2000) and the IGN adaptation of the Earth Gravitational Model 2008 (Pavlis et al., 2012) to the Spanish area (EGM2008-REDNAP; www.ign.es), following the recommendations of IHO (2018). Two study domains were defined according to the 1/60 ° resolution EGM2008-REDNAP grids (Figure 2): the Iberian Peninsula Domain (IPD; E -9.5 to 4.5 °, N 35 to 44 °) and the Canary Islands Domain (CID; E -18.5 to -13 °, N 27.5 to 29.5 °). In order to obtain the complete fields of the ellipsoidal height of the LAT (*LATH*) in the Spanish waters, the proposed methodology uses available data of orthometric height of the lowest astronomical tide (*LATO*; lowest tidal level height respect to the geoid), and undulation of the geoid (*N*; height of the geoid respect to the reference ellipsoid), as $LATH = N + LATO = N + MDT + LTLA$, where *MDT* is the mean dynamic topography (position of the mean sea-level above the geoid), and *LTLA* is the lowest tidal sea-level anomaly (distance from mean sea-level to the LAT). The calculated fields were validated and adjusted according to the experimental values. A description of the different data, sources, and analyses used in this work is given as follows.

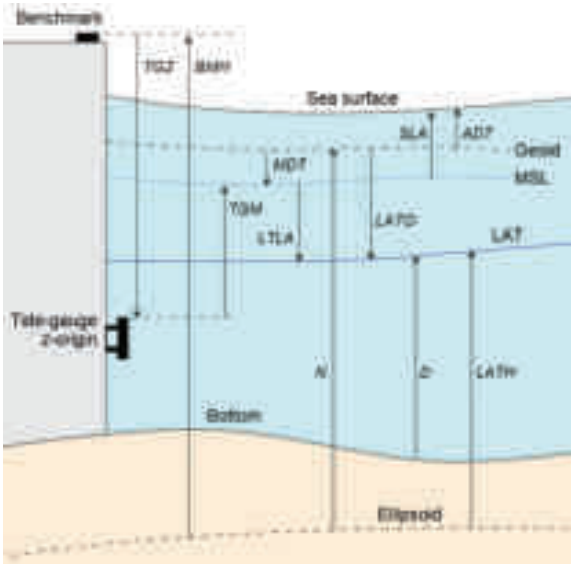


Fig. 1. Definition sketch (origins at the beginning of the arrow-ended lines, positive values upwards). ADT: absolute dynamic topography; BMH: ellipsoidal height of the benchmark; D: chart depth; LAT: lowest astronomical tide surface; LATH: ellipsoidal height of the LAT; LATO: orthometric height of the LAT; LTLA: lowest tidal level anomaly; MDT: mean dynamic topography; MSL: mean sea-level; N: geoid undulation; SLA: sea-level anomaly; TGM: tide-gauge's mean sea-level; TGZ: tide-gauge's vertical origin respect to the benchmark.

2.1. Field data at experimental stations

Sea-level data recorded at 110 stations by pressure and radar tide-gauges were used to obtain the experimental values of *LTLA* and *LATH* (Figure 2). For validation purposes, the experimental values of *MDT* and *LATO* were calculated from the measured *LATH* and *LTLA* by subtracting the EGM2008-REDNAP geoid undulation *N*.

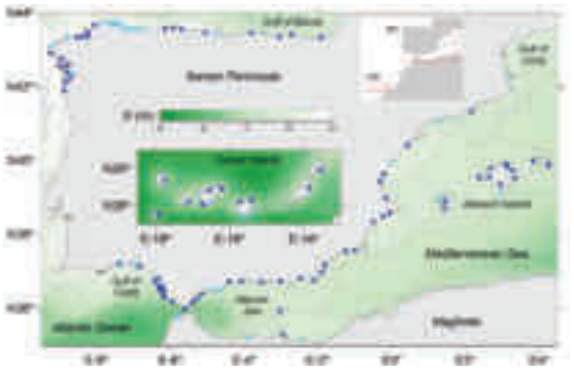


Fig. 2. Study domains IPD and CID, showing the tide-gauge stations with measurements of LATH (dark-blue dots) and LTLA (all dots). Color maps: EGM2008-REDNAP geoid undulation (N).

2.2. CMEMS IBI-Reanalysis absolute dynamic topography data

Time-spatial fields of sea-level were taken from the modeling-reanalysis service provided by the Iberia-Biscay-Ireland Monitoring and Forecasting Center (IBIre hereafter; Sotillo et al., 2015), in the framework of the Copernicus Marine Environment Monitoring System (CMEMS; www.copernicus.eu). The model grid covers the Atlantic area of Europe (E -19 to 5 °; N 26 to 56 °) with a horizontal resolution of 1/12 ° and 75 vertical sigma-levels. Hourly fields of *ADT* in the two study domains for a 19-year period (1999-01-01 to 2017-12-31) were detrended and debiased to obtain the fields of *MDT* as well as the *SLA* series, which were submitted to harmonic analysis to obtain the fields of *LTLA* through the 19-year harmonic prediction.

3. RESULTS

3.1. Lowest tidal sea-level anomaly (LTLA)

Figure 3a shows the IBIre fields of *LTLA*. Errors respect to the observed values are about 10 cm for IPD and 3 cm for CID. The greatest differences are mainly located within complex coastal environments of IPD, such as bays, estuaries, and inlets, where the local geometric effects on the hydrodynamics can determine significantly the sea surface variations (see, e.g., Álvarez et al., 1999; González et al., 2010; 2013; Díez-Minguito et al., 2012).

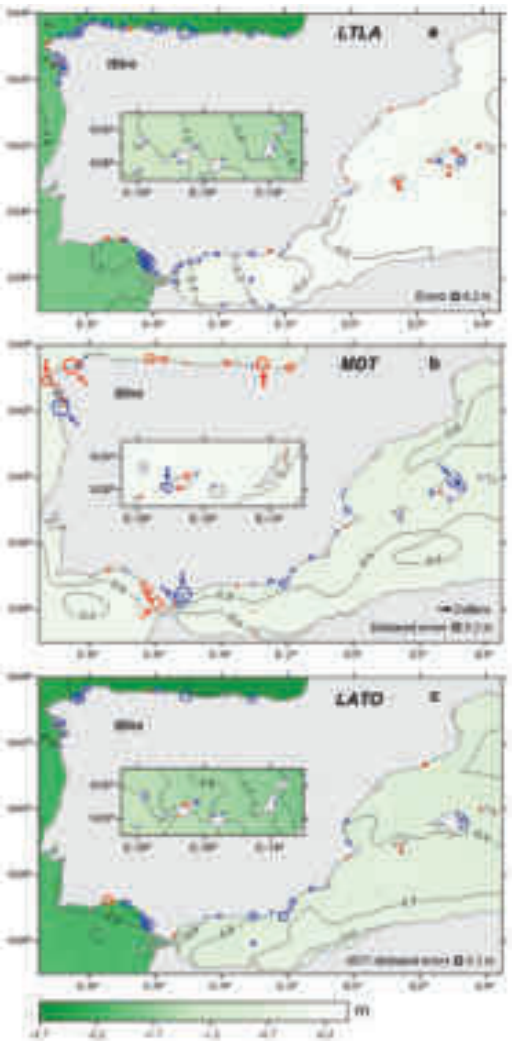


*Fig. 3. IBIre fields of LTLA (**a**), MDT (**b**; outliers marked by arrows), and LATO (**c**). Discrepancies with experimental stations are proportional to blue (excess) and red (defect) circles.*

3.2. Mean dynamic topography (MDT)

The IBIre fields of *MDT* are shown in Figure 3b. Unlike *LTLA*, the *MDT* values are subjected to an intrinsic arbitrary component, since they represent the vertical position of the "actual" MSL surface respect to the geoid, which depends on the chosen equipotential surface, spatial model, and coordinate system. In the case of IBIre, the equipotential surface is identified to the model zero-level (water "at rest"), without correspondence to any specific geoid model (E. Álvarez-Fanjul, personal communication). Hence, the validation of *MDT* was carried out by using the debiased values, focusing at the s.d. of differences in order to evaluate the fitting of the spatial geometry. Having this in mind, the errors between IBIre and observed *MDT* are about 10 cm in IPD and 7 cm in CID. These errors can be related to the inability of IBIre for resolving accurately the *MDT* near the coast and/or at regional/local scales; another possible source of the observed discrepancy between experimental and IBIre *MDT* values is the averaging period considered for calculating the *MDT*, which is highly variable for the experimental values at the tide-gauge stations depending on the date, length, and quality of the recorded sea-level series, and about 50% of IBIre discrepancies with observed *MDT* could be related to this cause.

3.3. Orthometric (LATO) and ellipsoidal (LATH) heights: data fitting and elaboration of the Reference Hydrographic Surface (RHS)

The IBIre fields of orthometric height of the LAT (*LATO*) are shown in Figure 3c. IBIre s.d. errors respect to the observed values are about 10.5 cm for IPD and 7.5 cm for CID. The greatest discrepancies are generally located at the stations with highest errors in *LTLA*, as well as where *LTLA* and *MDT* errors are additive. To constitute the basis of the RHS, the IBIre fields of *LATO* were fitted to experimental values through linear least-squares regression; the resulting fields (Figure 4a) are hence debiased respect to observed values and with the minimum *rmse*, which are 10.2 cm for IPD and 7.3 cm for CID. In order to obtain the fields of *LATH* (Figure 4b), the fitted *LATO* fields were re-sampled to 1/60 ° spatial resolution by 2-D cubic spline interpolation, and then added to the EGM2008-REDNAP geoid undulation *N* grids. The resulting *LATH* fields constitute the preliminary RHS that is presently being used by IHM during GNSS-based hydrographic surveys to evaluate its application to Spanish waters.

4. CONCLUDING REMARKS

Sea-level elevation data from the reanalysis product IBIre have been applied to constitute the basis of the RHS in Spanish waters. The discrepancies of the resulting fields of *LATO* and *LATH* respect to experimental values are about 10 cm, which are comparable to other similar studies in different regions (see, e.g., Turner et al., 2013; Slobbe et al., 2018). The representativeness of the obtained fields could be in fact better than that inferred from the discrepancies with observed data, taking into consideration the experimental uncertainness in the determination of *MDT* due to the variable averaging periods between stations, which is about half the observed errors. The greatest deviations were mainly found at semi-enclosed coastal environments such as bays, estuaries, and inlets, were the hydrodynamics is strongly determined by local geomorphological and/or hydrological effects not resolved by the IBIre grid. Local improvements can be achieved by forcing ad hoc corrections from experimental values, such as different interpolation methods, although more physically-meaning improvements could be achieved by the integration of regional/local hydrodynamic models, which are presently developed for several interest areas (see, e.g., Álvarez et al., 1999; Souto et al., 2001; Ruiz-Villareal et al., 2002; González et al., 2013; Cai et al., 2018; Lorente et al., 2019). In overall, it can be concluded that the IBIre sea-level data have enough quality to constitute a reliable basis for the establishment of an operative RHS in Spanish waters.

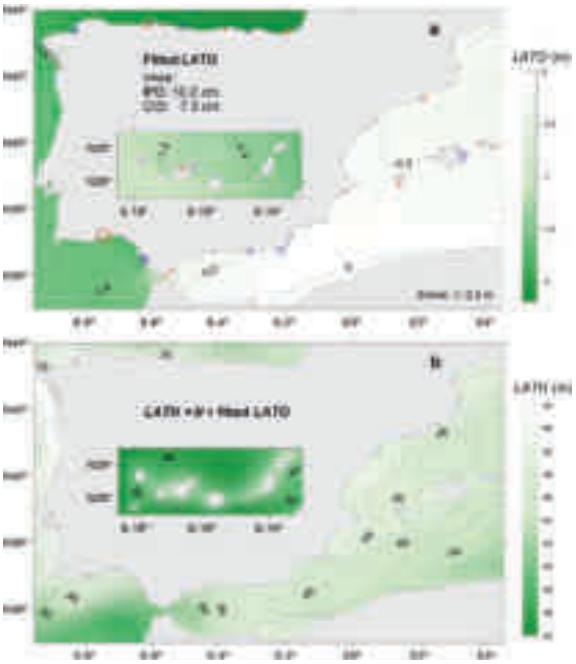


*Fig. 4. Computed fields of fitted LATO (**a**) and LATH (**b**), showing the differences with respect to the experimental stations proportional to blue (excess) and red (defect) circles (without outliers).*

Acknowledgements

Authors want to thank Dr. E. Álvarez-Fanjul from PdE and Comm. J. M. Quijano from IHM for their valuable assistance and comments that have helped the development of this study.

REFERENCES

Álvarez O., Izquierdo A., Tejedor B., Mañanes R., Tejedor L., Kagan B. A. (1999). The influence of sediment load on tidal dynamics, a case study: Cadiz Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 48, 439–450.

Cai H., Toffolon M., Savenije H. H. G., Yang Q., Garel E. (2018). Frictional interactions between tidal constituents in tide-dominated estuaries. *Ocean Science* 14, 769-782.

Díez-Minguito M., Baquerizo A., Ortega-Sánchez M., Navarro G., Losada M. A. (2012). Tide transformation in the Guadalquivir estuary (SW Spain) and process-based zonation. *Journal of Geophysical Research* 117, C03019.

Dodd D., Mills J. (2011). Ellipsoidally referenced surveys: issues and solutions. *International Hydrographic Review* 19-29.

FIG (2006). *FIG Guide on the development of a vertical reference surface for Hydrography*. The International Federation of Surveyors, Publication No. 37.

Godin G. (1972). *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press, Toronto, Canada, 264 pp.

González C. J., Álvarez O., Mañanes R., Izquierdo A., Bruno M., Gomiz J. J., Chioua J., López L. (2013). Baroclinic M2 tidal circulation in Algeciras Bay and its implications for the water exchange with the Strait of Gibraltar: observational and 3-D model results. *Journal of Geophysical Research.* 118.

González C. J., Álvarez O., Reyes J., Acevedo A. (2010). Two-dimensional modeling of hydrodynamics and sediment transport in the San Pedro tidal creek (Cadiz Bay): morphodynamical implications. *Ciencias Marinas* 36 (4), 393-412.

IHO (2018). *Technical resolution A2.5 Datums and benchmarks*. Publication M-3 2nd Edition 2010 updated to August 2018.

IHO (2005). *Manual on Hydrography*. International Hydrographic Bureau, Monaco.

Lorente P., García-Sotillo M., Amo-Baladrón A., Aznar R., Levier B., Sánchez-Garrido J. C., Sammartino S., de Pascual-Collar A., Reffray G., Toledano C., Álvarez-Fanjul E. (2019). Skill assessment of global, regional, and coastal circulation forecast models: evaluating the benefits of dynamical downscaling in IBI (Iberia-Biscay-Ireland) surface waters. *Ocean Science* 15, 1-30.

NIMA (2000). *Department of Defense World Geodetic System 1984. Its definition and relationship with local geodetic systems*. National Imagery and Mapping Agency Technical Report 8350.2.

Pavlis N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research* 117, B04406.

Ruiz-Villareal M., Montero P., Taboada J. J., Prego R., Leitao P. C., Pérez-Villar V. (2002). Hydrodynamic model study of the Ría of Pontevedra under estuarine conditions. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 54, 101-113.

Slobbe D. C., Sumihar J., Frederikse T., Verlaan M., Klees R., Zijl F., Farahani H. H., Broekman R. (2018). A Kalman filter approach to realize the Lowest Astronomical Tide surface. *Marine Geodesy* 41-1, 44-67.

Sotillo M. G., Cailleau S., Lorente P., Levier B., Aznar R., Reffray G., Amo-Baladrón A., Chanut J., Benkiran B., Alvarez-Fanjul E. (2015). The MyOcean IBI Ocean Forecast and Reanalysis Systems: operational products and roadmap to the future Copernicus Service. *Journal of Operational Oceanography* 8:1, 63-79.

Souto C., Fariña-Busto L., Álvarez E., Rodríguez I. (2001). Wind and tide current prediction using 3D finite difference model in the Ría de Vigo (NW Spain). *Scientia Marina* 65 (Suppl. 1), 269-276.

Turner J. F., Iliffe J. C., Ziebart M. K., Jones C. (2013). Global ocean tide models: assessment and use with a surface model of Lowest Astronomical Tide. *Marine Geodesy* 36, 123-137.

Yang Z., Myers E. P., Jeong I., White S. A. (2013). *VDatum for the Gulf of Maine: Tidal datums and the topography of the sea surface*. NOAA Technical Memorandum NOS CS 31, National Oceanic and Atmospheric Administration.

Identificação das principais alterações da nova edição da S-44 "IHO Standards for Hydrographic Surveys"

Monteiro, C. (1); Marques, C. (1); Dias, T. (1); Vicente, J. (1); Roscher, N. (2); Peçanha, A. (2)

(1) Instituto Hidrográfico. cristina.monteiro@hidrografico.pt

(2) Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil.

Resumo: Para acompanhar a evolução das tecnologias utilizadas na aquisição e processamento de dados hidrográficos e o incremento da procura generalizada destes dados para diversos fins, foi constituída pela *International Hydrographic Organization* (IHO) a *Hydrographic Survey Project Team* (HSPT) para atualizar a 5.ª edição da publicação S-44 '*IHO Standards for Hydrographic Surveys'*. A 6.ª edição da S-44 da IHO entrou em vigor dia 14 de setembro de 2020. Este artigo dissertará sobre as principais alterações desta edição, das quais se destacam: a redefinição dos requisitos de modo a tornar a publicação tecnologicamente independente; a introdução do conceito de cobertura batimétrica; a definição de uma nova Ordem; e a expansão da S-44 para permitir a classificação de qualquer levantamento hidrográfico (não apenas para efeitos de segurança da navegação), através de uma matriz onde constam critérios para classificar batimetria, posicionamento, fluxo de água e natureza do fundo.

Palavras-chave: Hidrografia, HSPT, IHO, S-44, *Standards*.

1. INTRODUÇÃO

Face ao rápido desenvolvimento de tecnologias e à utilização generalizada de dados hidrográficos para outros fins que não apenas a segurança da navegação, a *International Hydrographic Organization* (IHO) decidiu criar uma equipa de trabalho, a *Hydrographic Survey Project Team* (HSPT), para atualizar a 5.ª edição da publicação S-44 '*IHO Standards for Hydrographic Surveys*', de modo a torná-la tecnologicamente independente e estruturada de forma a permitir a classificação de qualquer levantamento hidrográfico, independentemente do seu propósito.

Esta 6.ª edição da S-44 apresenta uma matriz, organizada de forma temática, com critérios e atributos para classificar todos os levantamentos em função das suas características, quer sejam efetuados para efeitos de segurança da navegação ou não. Os requisitos mínimos associados ao posicionamento e à caracterização das ajudas à navegação e aos levantamentos em terra, passam a estar apresentados numa tabela dedicada. A introdução do conceito de «cobertura batimétrica», como um novo requisito para os levantamentos hidrográficos, surge da necessidade de eliminar o critério que recomendava o espaçamento base entre fiadas principais (adaptado aos sistemas acústicos) e as referências diretas ao sistema LiDAR. Este novo conceito obrigou a que fosse estudado, para cada uma das ordens, o valor adequado do requisito respeitando ou incrementando o nível de exigência definido na edição anterior. Esta edição acrescenta ainda uma nova ordem para efeitos de segurança de navegação: a Ordem Exclusiva, com requisitos mais restritivos do que os da Ordem Especial.

O trabalho da HSPT decorreu entre 2017 e 2020, contabilizou 5 reuniões presenciais e um conjunto de tarefas efetuadas por correspondência nos períodos intercalares. Na sua totalidade, a equipa foi constituída por 38 elementos, 29 dos quais em representação de 13 estados membros que ao longo destes 4 anos se propuseram a participar nesta revisão e 9 especialistas provenientes de associações internacionais, indústria e academia. A equipa foi também acompanhada por um secretário da IHO.

2. ANTECEDENTES

Esta secção foi baseada na apresentação efetuada por Chris Howlett, *Chair* do grupo de trabalho da 5.ª edição da S-44 na Hydro8, Reino-Unido, de 4 a 6 novembro de 2008.

A 1.ª edição da publicação S-44 *"Accuracy Standards Recommended for Hydrographic Surveys*", remonta a 1968, segundo Howlett (2008), foi elaborada apenas por 4 elementos (2 EUA, 1 Finlândia e 1 do Brasil), e estava adaptada à tecnologia e às boas práticas habituais à data, apresentando *standards* genéricos, como por exemplo, a escala do levantamento, o espaçamento base entre fiadas, o espaçamento entre sondas a constar na respetiva prancheta (atual implantação gráfica), controlo horizontal e vertical de dados hidrográficos e medições de correntes. Na altura, os valores máximos admissíveis para os erros na medição da profundidade eram de 30 cm para o intervalo de profundidades entre os 0 m e os 20 m, 1 m para o intervalo entre os 20 m e os 100 m e 1% da profundidade para profundidades superiores a 100 m.

A 2.ª edição da S-44 *"IHO Standards for Hydrographic Surveys and Classification Criteria for Deep Sea Soundings"* (Howlett, 2008) elaborada por 11 estados membros e publicada em 1982, ajustou os intervalos de profundidade da edição anterior, alterando o limite de 20 m para 30 m, face ao gradual aumento das dimensões e calados dos navios.

Em 1987 foi publicada a 3.ª edição e as principais alterações encontram-se refletivas no próprio nome da publicação *"IHO Standards for Hydrographic Surveys, Classification Criteria for Deep Sea Soundings and Procedures for Elimination of Doubtful Data". A* grandeza dos erros passa a ter apenas dois níveis: 30 cm dos 0 m aos 30 m de profundidade e 1% da profundidade para profundidades superiores a 30 m. É ainda nesta edição que é mencionado, pela primeira vez, o conceito cobertura/busca total do fundo associado ao uso dos sistemas de varrimento acústico.

Segundo Howlett (2008) o reconhecimento por parte da *International Maritime Organization* (IMO) ocorreu em 1989, ao adicionar uma nota de rodapé na resolução sobre "*Ships' Routeing Measures*" afirmando que os padrões mínimos para os levantamentos hidrográficos conduzidos para efeitos de cartografia náutica, nos corredores de tráfego, são aqueles que se encontram definidos na Publicação Especial n.º 44 da IHO.

A 4.ª edição *"Standards for Hydrographic Surveys"* remonta ao ano de 1998 e é nesta edição que os levantamentos voltados para a segurança de navegação passaram a ser classificados por ordens (especial, 1, 2 e 3), em função da relevância das áreas de sondagem e dos requisitos mínimos definidos (precisão horizontal e vertical definidas através das fórmulas atuais; busca total do fundo; e espaçamento máximo entre fiadas).

A 5.ª edição, de 2008, introduz o conceito de incerteza associada às medições das profundidades em detrimento do conceito de erro, reajusta as ordens eliminando a ordem 3 por apresentar requisitos desapropriados às tecnologias atuais, e subdivide a ordem 1 em 1a e 1b, atribuindo a estas ordens os mesmos requisitos em termos de incertezas e distinguindo-as por requerem ou não a busca total do fundo e a deteção de objetos.

3. HYDROGRAPHIC SURVEY PROJECT TEAM (HSPT)

A necessidade de efetuar uma revisão à 5.ª edição da publicação S-44 foi identificada e reconhecida em novembro de 2016 na 8.ª reunião do *Hydrographic Services and Standards Committee* (HSSC) da IHO, onde ficou estabelecido criar uma equipa dedicada a este objetivo.

A HSPT foi então constituída pelos representantes dos estados membros da IHO que abraçaram o desafio, designadamente a Alemanha, Austrália, Brasil, Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos da América, França, Itália, Holanda, Noruega, Portugal, Reino Unido, e Suécia e por alguns especialistas do sector privado e academia (*University of Southern Mississippi)* que foram convidados a participar tendo sido ainda acompanhada por observadores da *International Federation of Hydrographic Societies* (IFHS) e da *International Federation of Surveyors* e por um representante da IHO.

O trabalho de revisão e reestruturação da S-44, levado a cabo pela HSPT, decorreu entre 2017 e 2020, tendo sido efetuado de forma continua entre as 5 reuniões presenciais e nos respetivos períodos intercalares. Em 2017, na 1.ª reunião em Paris-França, entre 20 a 22 de junho, a HSPT começou por identificar as maiores limitações da 5.ª edição e elaborou, em parceria com a IFHS, um questionário internacional online com 38 perguntas para inquirir a comunidade hidrográfica em relação a esta edição e às expectativas para uma futura edição. Sustentada na análise de 500 respostas globalmente distribuídas (Monteiro *et al*, 2018), nas limitações identificadas e na orientação de tornar a publicação mais abrangente, a HSPT reuniu-se novamente, de 3 a 6 de julho de 2018, em Niterói-Brasil, onde foram colocadas em discussão as três realizações possíveis para a forma da 6.ª edição (tabela, matriz e híbrida) e ficou decidido reestruturar o formato da generalidade do documento, preservando-se a tabela de classificação dos levantamentos voltados para a cartografia náutica e adicionando uma matriz para os restantes levantamentos. Decidida a forma, passou-se à revisão dos conteúdos, reorganizando a informação em novos capítulos e anexos em conformidade com as novas tendências e com as publicações interdependentes da IHO (S-101; S-102; C-13; S-32).

Nesta fase, a equipa e o documento foram divididos e fez-se uma distribuição de tarefas atribuindo a cada subgrupo determinados capítulos, com o objetivo de tornar o processo mais célere. Esta revisão estendeu-se por alguns meses até se produzir a primeira versão integral da nova edição, que por ter sido escrita de forma independentemente pelos diversos subgrupos, apresentava redundância de informação e até algumas inconsistências. Estas questões foram deliberadas na 3.ª reunião em Wollongong-Austrália, de 12 a 15 março 2019. Nesta reunião surgiu o critério da "cobertura batimétrica" em substituição do espaçamento das linhas (fiadas).

Nos restantes períodos intercalares, as versões foram analisadas pelo HSSC, comitê da IHO responsável por supervisionar e acompanhar o trabalho da HSPT, por todos os estados membros intervenientes, pelas entidades representadas e por outras entidades nacionais solicitadas dentro de cada estado membro e, todas as sugestões de melhoria foram compiladas. Nas duas últimas reuniões no Mónaco (3 a 6 dezembro de 2019) e em Estocolmo-Suécia (2 a 6 de março de 2020), o documento foi revisitado na sua

totalidade, tendo sido debatida cada uma das sugestões apresentadas até ao culminar da versão atual, que foi submetida para aprovação pelos 93 estados membros da IHO.

4. PRINCIPAIS ALTERAÇÕES

4.1. Cobertura batimétrica

O novo critério introduzido em substituição do espaçamento entre linhas (fiadas) encontra-se definido no glossário da 6.ª edição da S-44, uma vez que é um conceito novo e que até era desencorajado na edição anterior pela dificuldade teórica de o alcançar. Segundo a IHO (2020) a "Cobertura Batimétrica: é a extensão da área de sondagem que foi levantada usando um método sistemático de medição da profundidade e que se baseia na combinação do padrão da sondagem e da área de deteção teórica do equipamento de sondagem". Perante este conceito, a Ordem Especial passa a requerer 100% cobertura batimétrica, o que incrementa a exigência relativamente aos requisitos da edição anterior, tornando-a apenas alcançável, atualmente, recorrendo a sistemas sondadores multifeixe tendo em conta a conjugação de todos os requisitos; a Ordem 1a, mantém os requisitos anteriores, com uma cobertura batimétrica inferior ou igual a 100% de modo a permitir a utilização conjunta do sistema sondador feixe simples + sonar lateral, uma prática utilizada em muitos estados membros; as Ordens 1b e 2 passam a requerer exatamente o mesmo valor 5% de cobertura batimétrica. A 6.ª edição apresenta um exemplo concreto para ajudar a compreender a origem deste valor. Segundo a IHO (2020) para um sistema sondador feixe simples, com 8° de abertura angular, e um espaçamento base de 3 vezes a profundidade e 10 vezes o espaçamento base para o espaçamento entre fiadas de verificação, de acordo com a fórmula seguinte, a cobertura batimétrica é dada por:
% coberta = área levantada / área total = (diâmetro da *footprint**comprimento total fiadas) / área total = 2*tan (8/2)*(1/3+1/(3*10)) = 0,051 = 5,1%.

4.2. Ordem exclusiva

Para os levantamentos efetuados para efeitos de segurança da navegação, a publicação define uma nova ordem "Exclusiva", que é mais exigente e difícil de alcançar do que a ordem especial. Ela é apropriada para os fundos onde a navegação esperada os torna ainda mais críticos. Esta ordem requer uma cobertura batimétrica de 200%, obrigando a que cada área seja sondada duas vezes de forma independente, exigindo redundância de dados e incrementando a sua densidade; o tamanho mínimo do objeto a detetar passa a ser de ½ metro e a máxima incerteza admissível na componente horizontal fica reduzida a 1 m e na vertical é dada pelos parâmetros a=0,15 m e b=0,0075 em função da profundidade (d), por aplicação da seguinte fórmula:

$$TVU_{max}(d) = \sqrt{a^2 + (b * d)^2}$$

4.3. Busca e deteção de estruturas (feições)

Além do critério de deteção de estruturas, que já era abordado na 5.ª edição como um dos critérios utilizados para a classificação de ordem de levantamentos, a nova edição introduzirá o conceito de "busca por estruturas". As especificações para deteção permaneceram iguais, incluindo a ordem exclusiva. A busca por feições representa a percentagem da área que foi levantada utilizando um método sistemático para identificação de feições.

4.4. Novos capítulos e anexos

A 6.ª edição foi estruturada por temas, apresentando 7 capítulos e 4 anexos, dos quais se realça apenas os que são totalmente novos dedicados aos níveis de água e fluxo; levantamentos acima do *datum* vertical; metadados (alinhados com a S-100); capítulo dedicado às tabelas (uma dedicada exclusivamente à batimetria e outra para os restantes elementos a levantar) e à matriz de especificações, que tal como na edição anterior, remetem as explicações do conteúdo das células para o corpo do documento, obrigando à leitura integral da publicação. Foi criado um anexo propositadamente para servir de guia com alguns exemplos na utilização da matriz e um novo anexo com algumas considerações sobre os modelos batimétricos (sem definição de quaisquer requisitos), por ter sido o entendimento geral da maioria dos elementos da HSPT que os modelos batimétricos são um produto de um levantamento hidrográfico e que a publicação se deve restringir à qualidade dos dados.

4.5. Matriz

A matriz de especificações nasce da necessidade de classificar qualquer levantamento hidrográfico, independentemente do seu propósito, em função das características alcançadas para cada critério. Servirá ainda para ajudar, a montante, a definir pré-requisitos adaptados aos mais variados fins por quem necessita de dados topo-hidrográficos. Com o intuito de facilitar a sua utilização, a matriz foi desenhada de forma a aglomerar os critérios por 4 temas:
- batimetria (figura 1);
- outros posicionamentos acima do *datum* vertical;
- fluxo de água;
- caracterização da natureza do fundo.

A matriz contém todos os critérios usados na definição das ordens dos levantamentos podendo também ser usada para classificar levantamentos efetuados para efeitos de segurança da navegação. Na utilização da matriz, a cada critério irá corresponder um determinado atributo, devendo ser identificado recorrendo a uma *string*, que identifique claramente o tema, o critério e o atributo alcançado ou a alcançar, conforme o exemplo da figura 2.

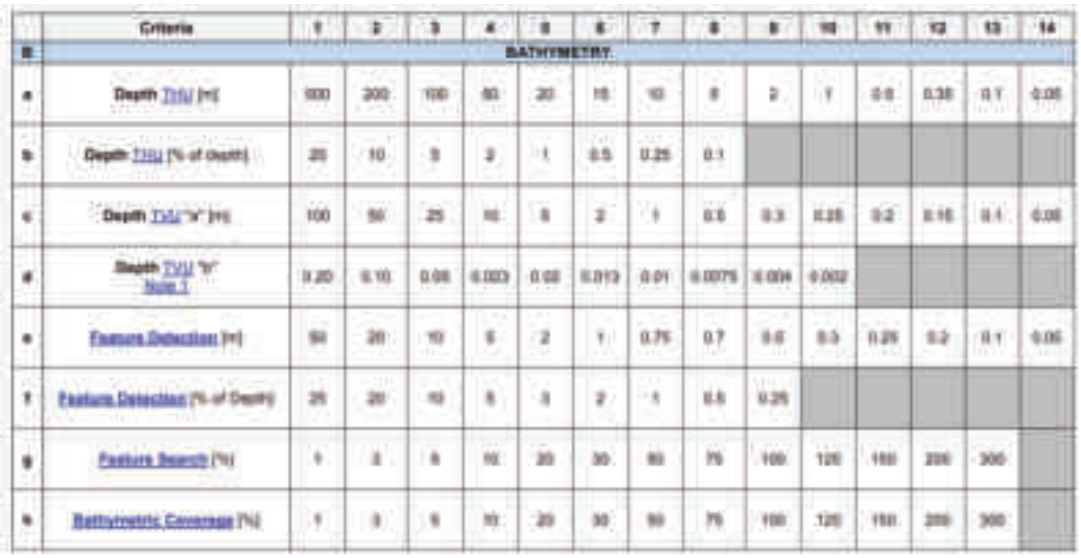


Figura 1. Imagem da matriz de especificações de batimetria. IHO (2020) 6.ª edição S-44.

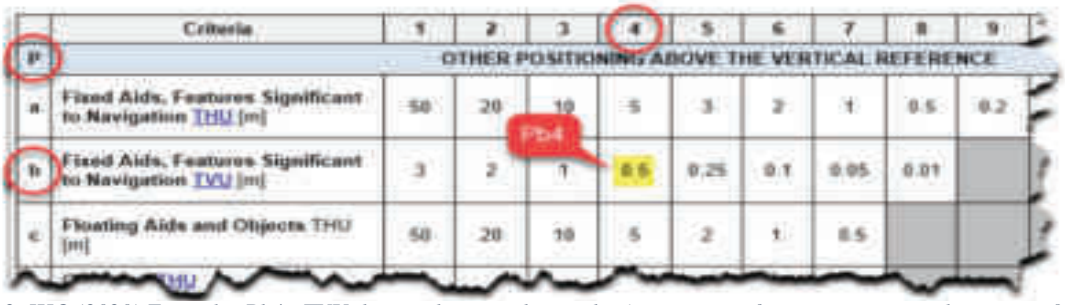


Figura 2. IHO (2020) Exemplo: Pb4 - TVU da coordenação das ajudas à navegação fixas e estruturas relevantes = 0.5 m.

Recorrendo apenas às figuras 1 e 2, por exemplo um levantamento pode ser classificado, de acordo com a matriz da S-44 (6.ª edição) através do seguinte modo: Ba8, Bb4, Bd6, Pa7, Pb3.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A 6.ª edição da S-44 da IHO introduz a "cobertura batimétrica" como um novo critério associado à área do levantamento, acrescenta a nova ordem «Exclusiva» para efeitos de segurança da navegação, cujos requisitos são mais exigentes que os da ordem especial, e introduz uma matriz de propriedades e atributos para possibilitar a classificação de trabalhos hidrográficos realizados para os mais diversos fins em função das características alcançadas, permitindo ainda auxiliar as entidades que necessitam de dados hidrográficos na definição de pré-requisitos adaptados aos seus objetivos.

A versão em português da nova edição será elaborada por meio de um trabalho conjunto entre o Instituto Hidrográfico e a Marinha do Brasil.

A hidrografia é uma ciência em constante evolução, e com o desenvolvimento emergente de tecnologias alternativas, automatização das plataformas de sondagem e aumento da capacidade de processamento de dados, seria importante acompanhar a aplicabilidade desta edição, assim como atualizar o C-13 Manual de Hidrografia da IHO. Para tal, o HSSC está a ponderar criar um grupo de trabalho permanente dedicado à Hidrografia (*Hydrographic Survey Working Group* - HSWG).

A 6.ª edição da S-44 da IHO entrou em vigor dia 14 de setembro de 2020 (data de submissão do presente artigo).

REFERÊNCIAS

IHO (2008). *Special Publication 44 – IHO Standards for Hydrographic Surveys*. (5th ed.). Monaco.

IHO (2016). *Circular Letter 68/2016 - Composition of the IHO Project Team on Standards for Hydrography*. 20 de dezembro.

IHO (2020). *Special Publication 44 – IHO Standards for Hydrographic Surveys*. (Draft Version 2.0.1 of Edition 6.0.0). Monaco. Disponível online: https://iho.int/uploads/user/pubs/Drafts/S44_Edition_6.0.0-Final.pdf , acedido em 02-09-2020.

Howlett, C. (2008) *The IHO's New Standard for Hydrographic Surveys.* Disponível online: http://www.hydroconferences.org/documents/hydroconferences/downloads/1/paper_12_-_chris_howlett.pdf , acedido em 02-09-2020.

Monteiro, C. Marques, C. Roscher, N. Carvalho, R. (2018) *No caminho de uma nova S-44, reestruturação dos "IHO Standards for Hydrographic Surveys"*. Actas das 5.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 57-60.

Characterizing free and open-source tools for ocean-mapping

Cordero, J. M. (1); Kastrisios, C. (2)

(1) Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz, Spain, *jcorros@fn.mde.es.*

(2) University of New Hampshire, Center for Coastal and Ocean Mapping, Durham, NH, USA.

Abstract: Over the last years, scientists and professionals have made available several free and open-source software tools meant for geophysical survey planning, underwater remote sensing data processing, and geospatial data visualization. However, the use of these tools is limited within hydrographic offices. One of the reasons could be the lack of awareness about the functionalities and the performance of the available solutions. The purpose of this paper is to present an overview of free and open-source tools that may be applied to a Hydrographic Office workflow including data acquisition, data processing, quality control, and data visualization.

Key words: FOSS4G, Hydroffice, Hydrography, MB-System, Seabed2030.

1. INTRODUCTION

Ocean mapping is mostly intended to provide an accurate model and characterization of the seafloor and a measurement of the sea level, with the purpose of nautical chart production in support of marine navigation. The workflow comprises topographic and bathymetric data collection, post-processing, surface modeling, visualization, and validation, before submission to the respective division for nautical chart production.

Hydrography, an applied science encompassed in Marine Geomatics, is influenced by advancements is relevant fields such as civil and ocean engineering, data science, and robotics. New technologies, such as high-resolution swath systems, topographic and bathymetric LiDAR, aerial photogrammetry, robust sub-decimeter positioning systems, and unmanned systems, are gradually implemented in hydrography. These new technologies have made the processing, management, dissemination, and visualization of massive 3d point clouds necessary (Kulawiak and Lubniewski, 2019). This need is expected to increase in the context of the Seabed2030 initiative for the mapping of the global seafloor with modern technologies (Wölfl *et al.*, 2019).

To perform the above tasks and to obtain hydrographic derived products, hydrographic offices predominantly use commercial software in their workflows. On the other hand, marine research centers and academic institutions conducting geophysical surveys often develop their own tools or adapt and customize existing Free and Open Source Software (FOSS). Thereby, not only licensing costs are reduced, but features unavailable with commercial software can be attained.

Nowadays, the use of FOSS is widespread in industry, academia, and among individual users. Particularly when it comes to FOSS for Geospatial Applications (FOSS4G), there is already at least one mature solution available for each geo-technology area (Brovelli *et al.*, 2017). Indeed, FOSS4G are key elements in major Earth Observations Programmes, such as Copernicus, and public sea mapping initiatives like EMODNET and AusSeabed (see Coetzsee *et al.*, 2020; Schaap and Moussat, 2013; Picard *et al.*, 2018). Also, Hydrographic Offices like SHOM and NOAA's Office of Coast Survey (OCS) are recognized producers of open source software and have implemented them in their work procedures (Massetti *et al.*, 2018).

Nevertheless, the use of FOSS4G by Hydrographic Offices is limited as most of these nautical charting authorities rely on commercial software for their ocean mapping workflow. Several reasons can be identified: the performance and reliability of the commercial software packages, the customer support, the familiarity of users with specific software, and the liability exposure in charting, to name a few. Furthermore, we can also identify as reasons for the limited use of FOSS4G the unawareness of their availability for use in the workflow, and, most importantly, the absence of a comprehensive study on their features and their performance compared to the commercial software.

The purpose of this developing research work is to fill this gap with performing a comprehensive study of the capabilities of FOSS4G for use in ocean mapping, offshore and at the office, as an alternative or a complement to commercial software.

2. RESEARCH METHODOLOGY

Online search to identify potential software was conducted, including marine research centers, ocean related academic institutions, hydrographic offices, the Open Source Geospatial Foundation, and popular repositories and research supporting websites, such as GitHub and ResearchGate. A total of 102 relevant software packages were identified. This list of the

Table I. FOSS4G under evaluation

Name	Intended use	O.S.	Main Developer	Homepage
AMUST	Multibeam uncertainty modeling	Windows	Delft TU	https://www.rijkswaterstaat.nl/
Blender	3D modeling	W/L/M	Blender foundation	https://www.blender.org/
CesiumJS	3D maps visualization	W/L/M	Cesium Lt	https://cesium.com/cesiumjs/
Cloud Compare	Point cloud and mesh analysis and edition	W/L/M	CloudCompare community	https://www.danielgm.net/cc/
CMST-GA MB Process	Multibeam data processing	Windows	CMST (Curtin University)	https://cmst.curtin.edu.au/
Entwine	Massive point cloud data organization and display	Linux	Entwaine community	https://entwine.io/
GeoMapApp	Geoscience datasets analysis and visualization	W/L/M	Lamont-Doherty Earth Obs.	http://www.geomapapp.org/
Globe	Multibeam processing and visualization	W/L/M	IFREMER	https://www.flotteoceanographique.fr
GMT	Geographic data manipulation	W/L/M	University of Hawaii	https://www.generic-mapping-tools.org/
HydroBib	Multibeam calculations	Windows	HydroCharting ApS	https://hydrocharting.com/
Hydroffice	Hydrographic workflow enhancement	Windows	NOAA/UNH	https://www.hydroffice.org/
MB-System	Swath sonar data processing and visualization	Linux	MBARI	https://www.mbari.org/
Meshlab	Automatic 3D mesh optimization	W/L/M	Visual Computing Lab of ISTI	http://www.meshlab.net/
MGET	Geoprocessing	Windows	Duke University	https://mgel.env.duke.edu/mget/
Panoply	NetCDF and GRIB format data visualization	W/L/M	NASA	https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/
PDAL	Point cloud data translation and manipulation	Linux	A. Bell et al	https://pdal.io/
PFMABE	Hydrographic and LIDAR data edition	Windows	NAVO	http://pfmabe.software/
Pydro	Hydrographic workflow automation	Windows	NOAA Office of Coast Survey	https://svn.pydro.noaa.gov/
QGIS	Geospatial data edition, analysis and visualization	W/L/M	QGIS community	https://www.qgis.org/
Rayshader	3D data visualization in R	W/L/M	Tyler Morgan-Wall	https://www.rayshader.com/
Sonar2Mat	Multibeam data parser	Windows	CMST (Curtin University)	https://cmst.curtin.edu.au/
SonarScope	Backscatter processing and MBES diagnostics	Windows	IFREMER	https://www.flotteoceanographique.fr
WebTide	Tidal prediction tool	Windows	Bedford Institute of Oceanography	http://www.bio-iob.gc.ca/

potential free-to-use or FOSS4G in ocean mapping was filtered out following the selection process described by Chen *et al*. (2010) for FOSS4G for use in hydrology. That includes factors such as the level of complexity, maturity, popularity, and functionalities of the software. It is noted that web apps, mobile apps and interpreted and not executable software are not considered by this work. Furthermore, only desktop software running on Windows, Linux, or MacOS and updated at least once since 2017 were further considered. All in all, after the initial selection process, 35 different pieces of software were downloaded and installed for further evaluation on a workstation equipped with an Intel

processor i7 8850H, GPU Quadro P2000, 32 GB of RAM and 1 TB SSD. These programs were qualitatively assessed and compared to the capabilities and features available in commercial and privative software packages used in ocean mapping by vendors such as CARIS, EIVA, QPS, ESRI, and BeamWorx. Lastly, low performance software and software lacking relevant features were excluded from further consideration. The final list of candidates is presented in Table I.

3. PRELIMINARY RESULTS

Almost every functionality that the commercial software offer can be covered by combining those found in one or more of the investigated FOSS4G. The most important limitation of FOSS4G is the Multi-beam echo-sounder (MBES) and Side-Scan Sonar (SSS) acquisition capability since only GPS data logging was achieved using free tools. Nevertheless, and considering hydrographic data processing and visualization, it could be stated that, from the list of the software of Table I, MB-System is the best alternative to CARIS HIPS, Qimera, and NaviEdit. MB-System accepts the majority of current data formats and includes most of the capabilities offered in these commercial packages. On the other hand, features that need a license, such as CUBE or the TU Delft Sound Speed Inversion Algorithm, are not available in MB-System. Furthermore, knowledge of Linux and the use of command lines are required. In addition, the processing of GPS tide is not possible with MB-System, which can be an issue in shallow water surveys.

IFREMER Globe offers a range of functionalities similar to MB-System with the addition of a complete graphical Windows interface and a better visual experience. However, only Kongsberg ".all/.kmal", Reson "s7k" and Caraibes formats are accepted as input data.

Pydro provides sophisticated and automatized tools for quality control of hydrographic data and a seamless integration with CARIS HIPS and the NOAA field procedures. Pydro may be easily adopted by Hydrographic Offices using similar methodologies and systems to that used by NOAA/OCS. Hydroffice, a set of programs also included in Pydro, provides tools for the hydrographic workflow enhancement (Masetti *et al*, 2018).

There are software products with unique features like CloudCompare (Westley *et al*, 2019) and PDAL for advanced point cloud analysis and manipulation. Survey planning can be complemented with GeoMapApp by collecting publicly available Digital Elevation Models at global and regional scales. Multibeam uncertainty can be modeled with the free-to-use software "Apriori Multibeam Uncertainty Simulation Tool" (AMUST). QGIS, a very popular open source GIS software with a considerable collection of available plugins, allows for spatial analysis and visualization of post-processed data.

Online 3D data dissemination and visualization can be attained using CesiumJS and Entwine without the need of powerful workstations or huge data streaming volumes, features useful when surveying offshore. When it comes to social networks and online publishing, Rayshader provides quick realistic or artistic 3d renders and animations but the user is required to code a few lines in R.

4. CONCLUSION

There has not been identified a single free-to-use or FOSS4G offering the same range of functionalities of the popular commercial software used by most hydrographic offices. Nevertheless, the preliminary results showed that the software under evaluation offer features that can be beneficial for the hydrographic offices (e.g., in quality control) either for offshore surveys or office work. In future work, we conduct an in-detail analysis and evaluation of the individual tasks that FOSS4G can perform compared to commercial software and identify areas that they can be incorporated in ocean mapping.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work of Christos Kastrisios is supported by the National Oceanic and Atmospheric Administration grant NA15NOS4000200.

REFERENCES

Brovelli, M. A., Minghini, M., Moreno-Sanchez, R., & Oliveira, R. (2017). Free and open source software for geospatial applications (FOSS4G) to support Future Earth. International Journal of Digital Earth, 10(4), 386-404.

Chen, D., Shams, S., Carmona-Moreno, C., & Leone, A. (2010). Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries. Journal of Hydro-environment Research, 4(3), 253-264.

Coetzee, S., Ivánová, I., Mitasova, H., & Brovelli, M. A. (2020). Open geospatial software and data: A review of the current state and a perspective into the future. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(2), 90.

Idrizi, B., Zhaku, S., Izeiroski, S., Kabashi, I., & Nikolli, P. (2014). Defining methodology for selecting most appropriate GIS software. *Survey review*, *46*(338), 383-389.

Kulawiak, M., & Lubniewski, Z. (2019). Integration, Processing and Dissemination of LiDAR Data in a 3D Web-GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *8*(3), 144.

Manik, H. M., & Yulius, D. (2015). Development and application of MB system software for bathymetry and seabed computation. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 9(6), 143-160.

Masetti, G., Wilson, M. J., Calder, B. R., Gallagher, B., & Zhang, C. (2018). Research-driven Tools for Ocean Mappers. *Hydro International*, *22*(1), 29-33.

Mohammed, D. W. E. (2014). Free and Open Source GIS: An Overview on the Recent Evolution of Projects, Standards and Communities. In *Proceeding of The 9th National GIS Symposium, Saudi Arabia, KSA* (pp. 1-13).

O'Hara, S. H., Ferrini, V., Coplan, J., & Morton, J. J. (2010, December). Tools for Automated Quality Assurance of Multibeam Bathymetry Data for the Global Multi-Resolution Topography (GMRT) Synthesis. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Picard, K., Whiteway, T., Leplastrier, A., & Team, A. (2018). AusSeabed: Collaborating to Maximise Australian Seabed Mapping Efforts. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Schaap, D., & Moussat, E. (2013). EMODNet Hydrography-Seabed Mapping-Developing a higher resolution digital bathymetry for the European seas. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 15).

Westley, K., Plets, R., Quinn, R., McGonigle, C., Sacchetti, F., Dale, M., McNeary, R. and Clements, A., 2019. Optimising protocols for high-definition imaging of historic shipwrecks using multibeam echosounder. *Archaeological and Anthropological Sciences,* 11(7), pp.3629-3645.

Wölfl, A.C., Snaith, H., Amirebrahimi, S., Devey, C.W., Dorschel, B., Ferrini, V., Huvenne, V.A., Jakobsson, M., Jencks, J., Johnston, G. and Lamarche, G., (2019). Seafloor Mapping–the challenge of a truly global ocean bathymetry. *Frontiers in Marine Science*, *6*, p.283.

Operacionalização da embarcação científica do CESAM: levantamentos hidrográficos em ambiente costeiro com o sistema multifeixe EM 2040 C

Cavalinhos, R. (1); Correia, R. (1,3); Rosa, P. (1); Lillebø, A. L. (1,2); Pinheiro, L. M. (1,3)

(1) CESAM, Universidade de Aveiro.

(2) Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro.

(3) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.

Resumo: O CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, da Universidade de Aveiro, oferece formação multidisciplinar avançada na área das Ciências do Mar como um dos seus principais objetivos, promovendo ainda a aquisição e disponibilização de dados científicos de carácter multidisciplinar em ambiente costeiro e marinho. Nesse sentido, e no âmbito dos cursos oferecidos pela Universidade de Aveiro, os alunos de pós-graduação têm a oportunidade de integrar a equipa de campo do CESAM na embarcação científica NEREIDE, participando na aquisição de dados hidrográficos (sondador multifeixe), geofísicos (sonar de varrimento lateral, magnetometria e reflexão sísmica de alta resolução com *Chirp Sonar* e *Sparker*) e oceanográficos (perfilador de correntes (ADCP); sonda CTD-multiparamétrica). O sistema sondador multifeixe *Kongsberg EM 2040 C*, totalmente operacional, permite a realização de levantamentos hidrográficos de elevada resolução em zonas estratégicas e pouco exploradas, desde a costa até aos 500 m de profundidade. Os resultados apresentados, foram adquiridos na Ria de Aveiro e Terminal Norte e serão disponibilizados na página *Web* do CESAM, tal como a informação batimétrica atualizada. O CESAM disponibiliza ainda a embarcação e os seus equipamentos para projetos em colaboração com outras unidades de investigação e instituições.

Palavras-chave: formação avançada; levantamentos hidrográficos; *open access;* sistema sondador multifeixe.

1. INTRODUÇÃO

O Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro (UA) tem como um dos seus principais objetivos desenvolver investigação multidisciplinar e transdisciplinar, envolvendo uma cooperação estreita entre investigadores e estudantes, potenciando os impactos científicos, sociais e educacionais da sua investigação e inovação.

Portugal, tem aumentado exponencialmente a sua dedicação à investigação das ciências do ambiente e do mar e, como reconhecimento desta questão, a UA e o CESAM promovem oportunidades para os alunos integrarem a equipa de campo do CESAM na embarcação científica NEREIDE. Deste modo, estes participam em levantamentos hidrográficos com sondador multifeixe, levantamentos geofísicos com recurso a sonar de varrimento lateral, magnetometria e reflexão sísmica de alta resolução (*Chirp sonar* e *sparker*) e na aquisição de dados oceanográficos com recurso a CTDs e ADCP.

No âmbito de trabalhos finais de licenciatura, foi recentemente realizado um levantamento hidrográfico (LH) com multifeixe na Ria de Aveiro e Terminal Norte do Porto de Aveiro.

2. EMBARCAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

O CESAM investiu na sua capacidade de exploração do meio marinho através da aquisição da embarcação NEREIDE (*Fig. 1*), pensada especificamente para fins científicos. Com 9.5m de comprimento e 3m de boca e capacidade para 8 pessoas, esta embarcação dispõe de um pau-de-carga com sistema hidráulico associado (*Fig. 2*) para movimentação dos instrumentos a bordo e que permite içar/arriar carga até 300 kg, bem como, girar, sensivelmente 350º para auxiliar na movimentação de instrumentos. O guincho está equipado com 300 m de cabo de aço, contando com um sistema de contagem de largada de cabo, permitindo operações de descida/subida de sondas tipo CTD (*Fig. 5*) e similares até uma profundidade máxima de 200 m, a uma velocidade aproximadamente 1 m/s. Tem o ponto de suspensão variável desde 1.5 m a 2.2 m acima da borda falsa e fora de bordo pode estender até 2 m do costado com o limite de carga associado. O pau-de-carga pode ser utilizado para colocar um equipamento na água e rebocá-lo a uma distância da ordem dos 15 m a ré, a uma velocidade de 4-5 nós.



Fig. 1. Equipa de campo do CESAM com alunos e professor na Embarcação NEREIDE.



Fig. 2. Pau-de-carga com guincho hidráulico.

A embarcação está equipada permanentemente com um gerador de energia elétrica monofásico autónomo de 230 V, com uma autonomia mínima de 3 horas, suprindo cerca de 7.0 kW de potência. Este é destinado exclusivamente à alimentação de equipamentos científicos e para tal, é utilizada uma UPS monofásica de 2 kVA. A bordo, existe também um inversor de 2500 W, de modo a serem ligados outros equipamentos elétricos.

Esta embarcação dispõe de instrumentação oceanográfica, geofísica e hidrográfica capaz de fornecer dados de caráter multi e transdisciplinar. Entre os principais equipamentos disponíveis estão o sistema multifeixe *Kongsberg EM 2040 C* (*Fig. 3*), um perfilador de correntes *ADCP RDi Workhorse 1200 kHZ* acoplado a um catamarã *Riverboat* (*Fig. 4*), uma sonda multiparamétrica *CTD Seabird 19plusV2* (*Fig. 5*), um sonar de varrimento lateral *EdgeTech SB-512i* (*Fig. 6*), um sistema de reflexão Sísmica Sparker (1 kJoule) e um magnetómetro/gradiómetro de alta precisão.



Fig. 3. Sonda multifeixe Kongsberg EM 2040 C, real-time probe para medição da velocidade do som e sistema inercial MRU-5 acoplado.



Fig. 4. Perfilador de corrente acústico ADCP WH Sentinel 1200 kHz e catamarã Riverboat Teledyne Oceanscience.



Fig. 5. Sonda multiparamétrica CTD Seabird 19plusV2.



Fig. 6. Sistema combinado Chirp Sonar/Side Scan Sonar Edgetech SB-512i.

3. LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

O levantamento hidrográfico (LH) que se apresenta neste trabalho decorreu na Ria de Aveiro, mais especificamente, no Terminal Norte do Porto de Aveiro (*Fig. 7*) e visou essencialmente a recolha de dados de batimetria e a familiarização dos alunos com projetos finais de Licenciatura, com os procedimentos de aquisição de dados recorrendo ao sistema de sondagem multifeixe.

Ainda no âmbito das competências do CESAM e de forma a contribuir para a criação duma base de dados interna, exclusiva para investigação, foram realizados LH de oportunidade no canal principal de navegação, na embocadura da Barra (*Fig. 10*), assim como nos trânsitos de e para a Marina da Gafanha da Encarnação (*Fig. 8*).

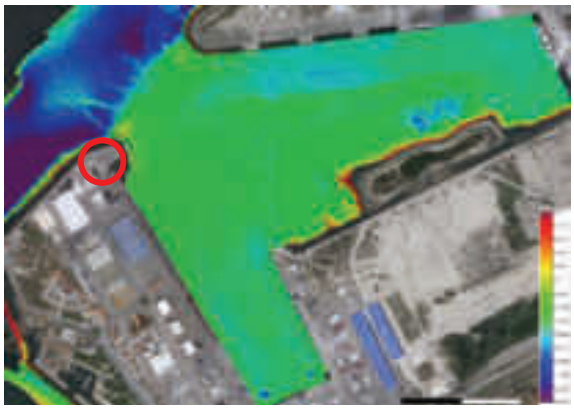


Fig. 7. Levantamento Hidrográfico realizado no Terminal Norte da Administração do Porto de Aveiro (APA) com sinalização da localização da estação de referência.

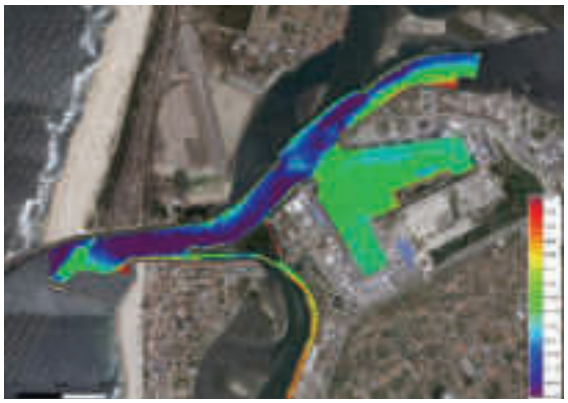


Fig. 8. Levantamento Hidrográfico realizado na Ria de Aveiro e Terminal Norte do Porto de Aveiro.

Para a execução deste levantamento, foi utilizada a embarcação NEREIDE equipada com o sistema multifeixe *Kongsberg EM 2040 C*, operado na frequência de 300 kHz com uma cobertura efetiva de 120º (60º para cada bordo). A correção de posição foi assegurada por uma estação base fixa em terra, através do método DGPS RTK-UHF.

Foram executadas 146 fiadas principais de sondagem, paralelas à batimetria geral do meio. O afastamento entre fiadas variou em função das profundidades de forma a garantir a cobertura total do fundo, com uma sobreposição aproximada de 50%.

A aquisição dos dados foi realizada através do software SIS - *Seafloor Information System* da *Kongsberg*.

3.1. Posicionamento e atitude da embarcação

O sistema de posicionamento utilizado foi suportado pelo método *Real Time Kinematic* (RTK), que possui uma exatidão vertical quase decimétrica (modo cinemático). As correções são calculadas pela estação móvel após processados e enviados pela estação de referência (*Trimble R8s*). A estação de referência, foi instalada num cais da Administração do Porto de Aveiro (APA), junto à área de estudo e a transmissão dos dados, foi executada no modo *Ultra High Frequency* (UHF).

O posicionamento e atitude da embarcação foram asseguradas por dois recetores *Global Positioning System* (GPS), um sensor inercial *Motion Reference Unit* (MRU) 5 da Kongsberg SEATEX (*Fig. 3*) e por um módulo de integração dos dados de posicionamento com os dados de atitude do sensor inercial, o Hemisphere VS330. Este módulo, calcula e envia para a unidade de processamento (PU) do sondador multifeixe a posição, a atitude e proa da embarcação, referidas ao centro de gravidade da embarcação.

3.2. Sistema Multifeixe Kongsberg EM 2040 C

A EM 2040 C (C de compacto) é uma sonda acústica multifeixe para trabalho em profundidades inferiores a 500 m e é o equipamento ideal para mapeamento e inspeção de fundo em alta resolução. O receptor e o transmissor são integrados numa só cabeça de sonar.

O sistema atende e até supera a ordem especial da *International Hydrographic Organization* (OHI-S44) e a especificação geodética *Land Information New Zealand* (LINZ) mais rigorosa.

A largura de banda operacional disponível é de 200 a 400 kHz, sendo possível escolher a melhor frequência de operação – 200 kHz para águas profundas, 300 e 400 kHz para a inspeção de elevada resolução.

Por se tratar de baixas profundidades, neste trabalho, utilizou-se a frequência de 300 kHz, permitindo ainda assim, alta resolução batimétrica, mas também a obtenção de dados de refletividade para identificação de diferentes tipos de sedimentos superficiais.

3.3. Velocidade de propagação do som na água

De forma a corrigir os feixes acústicos, para a medição de velocidade de propagação do som na água à profundidade de imersão do transdutor e ao longo da coluna de água, foram utilizados, respetivamente, o *Micro X real-time probe* (*Fig. 3*) e o *Base X* da *AML Oceanographic* (*Fig. 9*).



Fig. 9. Equipamento para medição da velocidade do som na água (SVP), BASE X da AML Oceanographic.

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Embora apenas seja apresentado o processamento dos dados batimétricos, o CESAM também tem a capacidade para processamento e interpretação de dados de retrodispersão acústica (*backscatter*), de sonar de varrimento lateral, de reflexão sísmica de alta resolução e Oceanográficos (direção e variação das correntes na coluna de água; análise de multiparâmetros de qualidade da água).

O processamento dos dados multifeixe, foi executado no software CARIS HIPS and SIPS versão 10.4 da *Teledyne CARIS*, através do uso do *Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator* (CUBE) e da limpeza de sondas (*data cleaning*). Deste modo, foram criadas superfícies batimétricas com resolução de 0,5 m (ficheiros de imagem TIFF), 5 e 10 m.

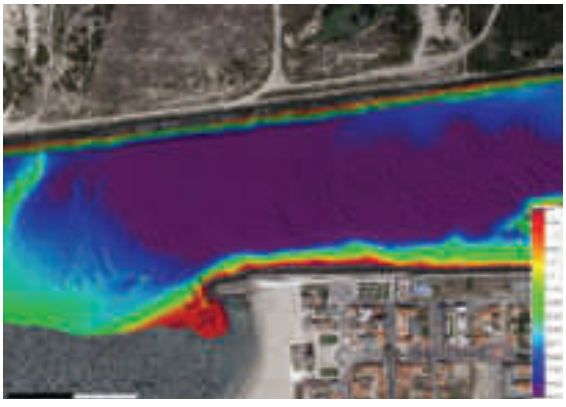


Fig. 10. Levantamento Hidrográfico realizado na Ria de Aveiro com aproximação na zona de embocadura (Praia do Farol).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A embarcação NEREIDE, juntamente com a sua instrumentação, possibilita excelentes capacidades de obtenção de dados multidisciplinares na área das ciências do mar.

A qualidade dos equipamentos permite a apresentação de resultados com alta resolução, como é o caso do sistema multifeixe.

É necessário referir que este trabalho foi realizado no contexto de aulas e no desenvolvimento de projetos finais de licenciatura, não garantindo a ordem especial dos levantamentos hidrográficos mas, garantindo sim, que os alunos executavam todas as tarefas práticas de modo a familiarizarem-se com a Hidrografia.

Os dados aqui apresentados serão disponibilizados na página *Web* do CESAM, tal como a informação batimétrica atualizada adquirida em futuros levantamentos hidrográficos no formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), com espaçamento de 5 e 10 m.

REFERÊNCIAS

Cordeiro N.G.F., Dubert J., Nolasco R., Barton E.D. (2018) Transient response of the Northwestern Iberian upwelling regime.

Correia, R., Lavoie, C., Pinheiro, L., Magalhães, V., Moura, D., Bennazzouz, O., Sena, C., Silva, P., Gabriel, S., Horta, J., Abreu, T., Mota, A. (2014) Seabed morphology along the rocky shore of the Barlavento Coast, southern Portuguese continental shelf.

Duarte D., Magalhaes V.H., Terrinha P., Ribeiro C., Madureira P., Pinheiro L.M., Benazzouz O., Kim J.H., Duarte H. (2017) Identification and characterization of fluid escape structures (pockmarks) in the Estremadura Spur, West Iberian Margin.

Duarte, H. Pinheiro, L.M., Teixeira, F., Monteiro, J. (2007) High-resolution seismic imaging of gas accumulations and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal).

Kongsberg (2014). "Data sheet – EM2040C (Compact) Multibeam echosounder", Kongsberg Maritime AS, Norway.

Levantamentos hidrográficos expeditos em zonas de catástrofe através de técnicas de deteção remota como apoio à projeção de forças no terreno

Bué, I. (1) (2); Catalão, J. (2); Semedo, A. (3) (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. isabel.maria.bue@marinha.pt.

(2) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

(3) IHE Delft, Institute for Water Education, Department of Coastal Systems and Engineering and Port Development, Delft, The Netherlands.

Resumo: A passagem do furacão *Lourenzo* pelo arquipélago dos Açores em outubro de 2019 provocou estragos avultados, nomeadamente no porto das Lajes (ilha das Flores), impedindo navios de atracar e fornecer apoio logístico aos habitantes. Neste estudo é apresentada uma metodologia de extração de batimetria através de imagens multiespectrais dos satélites Sentinel-2. Foi seguido um modelo comutativo de diferentes rácios de refletâncias entre duas bandas espectrais para melhorar a derivação da batimetria até aos 10 m de profundidade e a produção de Levantamentos Hidrográficos Expeditos (LHE). Os modelos batimétricos gerados têm uma resolução de 10 m e permitem efetuar uma primeira análise de zonas sinistradas ou pós catástrofes, precedendo a projeção de forças e equipas especializadas no terreno e a realização dos tradicionais LHE. Poderá também servir como um produto de apoio à decisão para a projeção de Forças Militares em zonas remotas ou com informação batimétrica escassa ou desatualizada.

Palavras-chave: extração de batimetria, imagens multiespectrais, levantamento hidrográfico expedito**,** projeção de forças militares, Sentinel-2.

1. INTRODUÇÃO

No dia 02 de outubro de 2019 o furacão *Lorenzo* atingiu o arquipélago dos Açores com rajadas de 163 km/h e ondas de 15 m, provocando estragos avultados em infraestruturas portuárias, rede viária, habitações e outros equipamentos públicos (Sambado, 2019). A tempestade tropical *Lorenzo* formou-se no Atlântico a 23 de setembro, foi classificada como Furacão de categoria 5 a 29 de setembro e dissipou-se a 04 de outubro (Fig 1) (Mersereau, 2019). No decorrer das operações de apoio à população da ilha das Flores, a Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida (EHIR) do Instituto Hidrográfico (IH) elaborou um produto cartográfico expedito, com recurso a um sondador de feixe simples e a um sonar lateral para a deteção de objetos submersos, o que permitiu avaliar a acessibilidade do porto das Lajes.

A busca por métodos alternativos e menos dispendiosos que os Levantamentos Hidrográficos (LH) tradicionais e expeditos (LHE), tendo em vista aumentar o conhecimento da informação batimétrica onde ela é escassa ou está francamente desatualizada, tem sido uma luta constante. No entanto, os LH são dispendiosos, não só a nível material ou de recursos humanos, mas também em relação ao tempo necessário para recolher, tratar e processar os dados. Devido à recente e enorme quantidade de dados provenientes de sensores de deteção remota (DR), existe um elevado número de técnicas e métodos que geram modelos batimétricos e que se dedicam à extração e derivação de batimetria a partir de imagens satélite (SDB – *Satellite Derived Bathymetry*) (Stumpf *et al.*, 2003; Caballero & Stumpf, 2020; Chénier *et al.,* 2018). A estimativa de profundidades a partir de sensores de DR, principalmente de satélites, poderá ser a única solução viável em regiões remotas e/ou inacessíveis, zonas de catástrofe e onde não exista a possibilidade de destacar uma equipa em tempo, ou mesmo em águas pouco profundas e onde possam existir perigos/riscos para a navegação. Apesar da sua resolução ser inferior, relativamente aos LH, este tipo de metodologia pode cobrir vastas áreas, em muito pouco tempo e com baixos custos operacionais (Chénier *et al.,* 2018).

Com este trabalho pretende-se demonstrar que através de técnicas SDB se consegue obter informação rápida, expedita e concordante com LHE em zonas de catástrofe e/ou de difícil acesso, tendo a área do porto das Lajes (Ilha das Flores), após a passagem do furacão *Lorenzo*, como caso de estudo.



Fig. 1. Trajetória do Furacão Lorenzo (@www.nhc.noaa.gov).

2. METODOLOGIA

Um LHE não obedece a normas restritas e não é realizado por especialistas em hidrografia. São limitados em rigor e na quantidade de dados disponíveis, bem como no tempo disponível para a sua realização. Geralmente são os elementos de uma equipa ou serviço de navegação que conduzem e efetuam um LHE. Como é um requisito específico de uma operação/missão, não existem equipas ou meios especializados a bordo dos navios. São realizados principalmente após uma catástrofe natural, em operações de salvamento, ou como preparação para a realização de campanhas hidrográficas, tendo em conta que na maioria dos casos a informação cartográfica e/ou batimétrica do local não existe, é escassa ou muito desatualizada. São construídos "Enfiamentos" para auxiliar no posicionamento e utilizado o material disponível, como a sonda e GPS portáteis, fio de prumo e sextante, garantindo o maior rigor possível aquando da sondagem.

A extração de batimetria através de imagens satélite e as respetivas técnicas SDB, encontram-se atualmente em amplo crescimento, tendo vindo a ser melhoradas graças à visão sinóptica aprimorada dos satélites de observação da Terra. Estes métodos são bastante atrativos e muito mais baratos, quando comparados com os LH. Na perspetiva dos autores, e atendendo às especificações para a ocorrência de um LHE, as técnicas que geram modelos SDB poderão constituir-se como uma boa opção para obter informação batimétrica de uma forma rápida e mais barata. Estes modelos podem auxiliar a preparar a atuação de uma força/equipa ou projeção no terreno, quando não é possível efetuar um LHE ou LH no imediato.

Existem várias técnicas e metodologias para a obtenção de modelos SDB através de imagens multiespectrais, dependendo da determinação da relação entre a profundidade e a radiação solar refletida pela coluna de água. No IH têm sido estudadas algumas metodologias, bem como a operacionalização de produtos SDB (Vilar *et al*., 2018). Um dos métodos mais utilizados baseia-se no rácio entre os logaritmos naturais das refletâncias de duas bandas espectrais (Stumpf *et al.*, 2003). Essa relação depende das propriedades da coluna de água e do fundo do mar e é baseada num modelo de transferência radiativa que incorpora as propriedades espectrais da água. Este método é ideal para ser utilizado em águas pouco turvas e profundas (< 25 m), utiliza um número muito pequeno de coeficientes empíricos e necessita de poucas observações *in situ* para a sua calibração, o que torna a sua aplicação muito simples. Neste estudo foi utilizado o algoritmo de Stumpf *et al.* (2003), à semelhança de Vilar *et al.* (2018), para produzir modelos SDB do porto das Lajes, seguindo 4 passos:

1. Pré-processamento
2. Aplicação do algoritmo SDB
3. Calibração do modelo
4. Validação do modelo

2.1. Pré-processamento das imagens satélite

A correção atmosférica é considerada uma etapa crítica para a análise de imagens multiespectrais e melhora a precisão dos modelos batimétricos produzidos por técnicas SDB. Para a correção atmosférica das imagens foi utilizado o processador ACOLITE, o qual foi desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo *Royal Belgian Institute of Nature Sciences* (RBINS) (Vanhellemont & Ruddick, 2016). O software suporta imagens dos satélites Landsat (5/7/8) e Sentinel-2 e foi projetado especificamente para aplicações aquáticas. Neste estudo, imagens Sentinel-2 (S2) Level-1C (L1C) foram processadas para o nível L2A, ou seja, os valores de refletância do topo da atmosfera (R_{TOA}) para refletância à superfície (R_S). Foram escolhidas imagens com influências mínimas de brilho solar e cobertura de nuvens, e após processadas têm uma resolução espacial de 10 m.

2.2. Aplicação do algoritmo SDB

A primeira fase da aplicação de um algoritmo SDB é a separação dos pixéis de água dos de terra. Esta separação baseou-se na aplicação do *Normalized Difference Water Index* (NDWI), de McFeeters (1996). O cálculo deste índice utiliza as bandas do verde (Green, B3) e do infravermelho próximo (NIR, B8) do S2.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Após a separação água/terra, foi aplicado o algoritmo de Stumpf *et al* (2003):

$$z\,(x,y) = m_1 \frac{\ln\left(n\,\rho_s(\lambda_i)\right)}{\ln\left(n\,\rho_s(\lambda_j)\right)} - m_0$$

onde z corresponde à profundidade SDB, m_1 e m_0 são as constantes que calibram o modelo relativo, proporcionando assim a obtenção do modelo batimétrico, $\rho_s(\lambda_i)$ é o valor da R_S na banda do azul (B2) e $\rho_s(\lambda_j)$ a R_S na banda do verde (B3). O rácio dos logaritmos origina uma resposta linear com a profundidade e a constante n é aplicada de modo a que os logaritmos naturais sejam sempre positivos. Geralmente assume valores entre os 500 e os 1500 (Stumpf *et al.,* 2003), tendo sido utilizado o valor de n = 1000. A regressão linear entre o rácio dos logaritmos e a profundidade (observações *in situ*) irá permitir determinar os valores de m_1 (ganho) e m_0 (offset):

$$y = m_1 x - m_0$$

Em áreas onde existam zonas de sapais, pantanosas, espraiadas ou muito suscetíveis à influência de marés, como o caso de Faro-Olhão e dos estuários do Tejo e do Sado, é aconselhável que seja utilizada a R_S na banda do vermelho (B4), em vez da B3. Estudos anteriores comprovaram que este rácio de R_S produz melhores resultados em zonas intertidais (Caballero & Stumpf, 2020; Bué *et al.*, 2020).

2.3. Calibração do modelo batimétrico

Para a calibração do modelo batimétrico produzido foram utilizados valores de profundidade (ou sondas) da carta náutica (CN) da área, o que corresponde, na

maior parte das vezes, à única fonte de informação disponível para a realização de um LHE. Estes valores são referidos ao zero hidrográfico, logo o modelo calibrado é obtido sem o efeito da maré, não sendo necessário a aplicação de correções ou concordâncias de maré. Foram criados e calibrados modelos SDB com recurso a sondas da CN e do LH da EHIR. Para o modelo calibrado através de sondas da CN foram utilizados 20 pontos, enquanto que o outro utilizou 40. Trabalhos publicados recentemente defendem a utilização de poucos pontos para a calibração (5 a 10), tendo em conta que o algoritmo utilizado possui apenas 2 parâmetros com a necessidade de calibração (Chénier *et al.,* 2018; Caballero & Stumpf, 2020).

2.4. Validação do modelo batimétrico

Perante casos extremos, onde não exista qualquer tipo de informação recente, as sondas das CN poderão ser a única fonte de dados disponível. A título experimental, os modelos SDB foram inicialmente validados através de sondas retiradas da CN. Tendo em conta que a EHIR efetuou um LH no porto das Lajes poucos dias após a passagem do furacão Lorenzo, foram aleatoriamente selecionadas algumas sondas por forma a validar/avaliar a precisão do modelo SDB criado. Os modelos gerados têm uma resolução espacial de 10 m. Apesar de existir um LH da área do porto das Lajes referente a 2018, este não foi utilizado neste estudo.

3. DADOS E *SOFTWARE*

3.1. Imagens Sentinel-2

Foram utilizadas imagens Sentinel-2A (S2A) e Sentinel-2B (S2B) *L1C* do programa *Copernicus*, as quais foram retiradas do *Sentinel's Scientific Data Hub* (https://scihub.copernicus.eu/). No caso deste estudo, foram utilizadas 2 imagens, devidamente orto-retificadas e projetadas em UTM/WGS84, uma antes (S2B-20190825) e outra após (S2A-20191009) a passagem do furacão *Lorenzo*. Ambas as imagens foram adquiridas às 13:00 UTC.

3.2. Dados batimétricos para calibração/validação

Foi utilizada a CN 46401, a qual abrange a ilha das Flores e de onde foram retirados os valores das sondas para efeitos de calibração e validação dos modelos SDB. Não foram utilizadas sondas do interior do porto das Lajes tendo em conta que esta foi a área mais afetada pela passagem do furacão. É de salientar que, de acordo com o diagrama de compilação da CN, os valores das sondas utilizados são referentes a LHs realizados em 1963, 1992 e 1994/2002, de acordo com a área de onde foram retiradas (áreas afastadas do porto). A utilização de informação proveniente de LH menos recentes pode influenciar a precisão dos modelos SDB gerados. No entanto não quer dizer que não existam LH mais recentes relativamente àqueles indicados no diagrama de compilação. Aliás, um novo LH só irá atualizar uma CN caso as diferenças assim o justifiquem. Foram de igual forma utilizadas sondas provenientes do LH realizado pela EHIR (OUT2019). Este LH foi efetuado dentro e fora do porto das Lajes e tem a resolução espacial de 1 m. Como estes dados são mais recentes, comparativamente com a batimetria da CN 46401, foi elaborado um novo modelo SDB. No entanto foi calibrado com algumas sondas exteriores ao porto e validado com um outro conjunto de sondas, do interior do porto das Lajes. Os modelos gerados têm uma profundidade de corte de 18 m.

3.3. Software utilizado

Para o processamento, calibração, validação, visualização das imagens satélite e criação dos modelos batimétricos foram utilizados vários programas e softwares como o SNAP 6.0, matlabR.2018a, ArcGis 10.3.1, CARIS Base Editor 4.4.3, QGIS 3.6.0 e ACOLITE (versão 20190326.0).

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Quando é exigida a realização de um LHE, a primeira etapa é a recolha de informações da área em causa. Para além de todos os relatos das entidades locais e notícias publicadas durante e após a passagem do furacão *Lorenzo*, as fotos da Fig. 2 são elucidativas da destruição causada na área portuária, principalmente no molhe e cais de atracação do porto das Lajes (Fig. 2.a), o que impossibilitou o abastecimento da ilha das Flores, por via marítima, durante vários meses (Mersereau, 2019; Sambado, 2019).



Fig. 2. Porto das Lajes – Ilha das Flores (Açores) (a) antes da passagem do furacão Lorenzo e (b) após o furacão Lorenzo. (@ Fred Fournier/AeroGrafica.pt)



Fig. 3. Porto das Lajes – Ilha das Flores. Composição RGB de imagens Sentinel-2. (a) S2B L1C 20190825 e (b) S2A L1C 20191009.

Na impossibilidade de obter informações da área afetada através de entidades locais ou de forças já projetados no terreno, poder-se-á efetuar uma primeira análise do local através das imagens satélite. Para isso é necessário escolher as melhores imagens e as que, cronologicamente, mais se aproximem da data da ocorrência da catástrofe/sinistro. As imagens da Fig. 3 correspondem a extratos das composições RGB do S2B de 25AGO2019 (antes – Fig. 3.a) e do S2A de 10OUT2019 (depois – Fig. 3.b). É claramente visível a destruição do molhe do porto das Lajes (Fig. 3.a), bem como a impossibilidade dos navios de

auxílio em atracarem, posicionando-se ao largo do porto. A imagem utilizada para a criação dos modelos SDB foi a de 10OUT2019. A Tabela I apresenta os resultados da correlação linear (R) entre as sondas (CN/LH) e as profundidades SDB (z) e a precisão para 3 dos modelos gerados, através do cálculo do RMSE (*root-mean-squared error*). Quanto mais correlacionados forem os dados (*in situ*/satélite), mais preciso será o modelo SDB, consequentemente com valores mais baixo de RMSE. Na Fig. 4 é apresentado o melhor modelo SDB obtido, o qual foi calibrado e validado com sondas do LH da EHIR.

Tabela I. RMSE e R dos modelos SDB (NO ACOLITE = sem correção atmosférica).

Modelos SDB	R	RMSE (m)
NO ACOLITE + CN	0,84	2,83
ACOLITE + CN	0,86	2,46
ACOLITE + LH	0,90	1,79

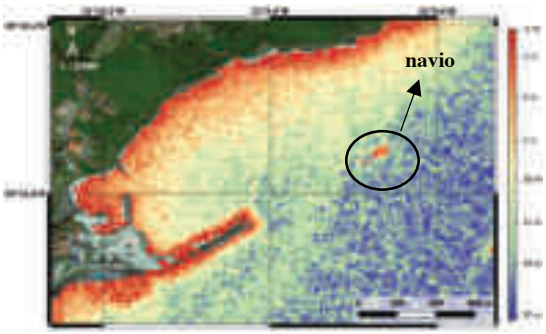


Fig. 4. SDB obtido para o porto das Lajes. Modelo calibrado e validado através de sondas do LH da EHIR (OUT2019).

A correção atmosférica melhorou a precisão do modelo SDB gerado, como era expectável, tendo o R aumentado de 0,84 para 0,86 e o RMSE diminuído de 2,83m para 2,46m. O modelo SDB calibrado com sondas da CN foi ainda validado com valores do LH, o que resultou num RMSE > 4 m, o que poderá indicar que alguns dos valores utilizados poderão estar desatualizados. Por sua vez, o modelo SDB calibrado e validado com sondas LH foi o que obteve melhores resultados (Fig. 4) com R = 0,90 e RMSE = 1,78 m. Os valores de precisão obtidos são concordantes com a literatura mais recente (Bué *et al.*, 2020; Caballero & Stumpf, 2020; Chénier *et al,* 2018). Não obstante, as diferenças obtidas, as quais se registaram em zonas mais profundas, poderão ser justificados parcialmente devido à diferença entre a resolução espacial do LH (1 m) e do modelo SDB (10 m) e da profundidade de corte (18 m) utilizada para gerar o modelo. O pós-processamento dos modelos também é um aspeto de extrema importância, pois permite identificar situações como a que se apresenta na Fig. 4, onde a mancha avermelhada mais afastada de costa/porto não pertence a nenhum objeto submerso, mas sim a um navio que se encontra na área (ver Fig. 3.b).

5. CONCLUSÕES

Este estudo empírico demonstra as potencialidades de modelos SDB como suporte à realização de um LHE. Sendo estes realizados por pessoal não especializado, qualquer tipo de informação fornecida antes da projeção da equipa no terreno é uma grande ajuda, para além de que os modelos SDB são mais baratos e obtidos mais rapidamente. Não esquecendo que qualquer informação batimétrica tem sempre erros associados, estes poderão ser atenuados consoante mais recente forem os dados que auxiliam à criação, calibração e validação dos modelos. A criação de modelos batimétricos com recurso a técnicas SDB não invalida a realização de LHE/LH, principalmente em situações de catástrofes ou sinistros, mas poderá ser uma informação valiosa para a projeção de forças militares em zonas remotas ou com informação escassa, ou até ajudar no planeamento e definição de áreas prioritárias para a realização de novos LH. É de extrema importância que o IH operacionalize este tipo de produtos, tendo em conta que em certas zonas do planeta as CN poderão ser a única fonte de informação disponível, como no continente Africano, e que a bordo dos navios os LHE muitas vezes são realizados com recurso ao sextante e fio-de-prumo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à *European Spacial Agency* (ESA) pela disponibilização das imagens Sentinel-2 no âmbito do programa *Copernicus* e ao IH pela informação batimétrica e cartográfica.

REFERÊNCIAS

Bué, I.; Catalão, J.; Semedo, A. (2020) Intertidal bathymetry extraction with multiespectral images: A logistic regression approach. *Remote Sensing.* 12, 1311

Caballero, I.; Stumpf, R.P. (2020) Towards routine mapping shallow bathymetry in environments with variable turbidity: Contribution of Sentinel-2A/B satellites mission. *Remote Sensing. 12*, 451

Chénier, R.; Faucher, M.; Ahola, R. (2018) Satellite-Derived Bathymetry for Improving Canadian Hydrographic Service Charts. *International Journal of Geo-Information* (*ISPRS). 7*, 306

McFeeters, S.K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing 17*, 1425–1432,

Mersereau, D. (28 setembro 2019). Historic Hurrican Lorenzo becomes a category 5 in Atlantic Ocean. *Forbes.* (consultado em 12 março 2020)

Sambado, C. (3 outubro 2019). Furacão Lorenzo provocou danos elevados. *RTP.* (consultado em 14 março 2020)

Stumpf, R.P.; Holderied, K.; Sinclair, M. (2003) Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology Oceanography. 48*, 547–556

Vanhellemont, Q.; Ruddick, K. (2016) Acolite for Sentinel-2: Aquatic Applications of MSI Imagery. *In Proceedings of the ESA Living Planet Symposium*, Prague, Czechia, 9–13 May.

Vilar, P.; Moura, A.; Lamas, L. (2018) Operacionalização de metodologias para a extração de batimetria a partir de dados de deteção remota. *Actas das 5.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, 19-21 junho, 25-28

Levantamentos batimétricos a partir de imagens de SAR

Santos, D. (1); Abreu, T. (2); Silva, P. A. (3); Baptista, P. (4)

(1) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal. E-mail: dmps@ua.pt

(2) CESAM & Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP-IPP), Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4249-015, Porto, Portugal. E-mail taa@isep.ipp.pt

(3) CESAM e Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal. E-mail: psilva@ua.pt

(4) CESAM & Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal. E-mail: renato.baganha@ua.pt

Resumo: Quando as ondas se propagam em áreas costeiras para profundidades inferiores a metade do comprimento de onda, observam-se padrões diferentes na superfície do mar. Em imagens de SAR, estes padrões são representados através de variações nos tons de cinza da imagem, possibilitando inferir a batimetria através das variações no comprimento de onda. Comummente, a transformada rápida de Fourier (FFT) é utilizada para estimar o comprimento de onda em domínios próximos à costa, reconhecendo-se, no entanto, que este método apresenta várias limitações, principalmente para pequenas profundidades. Para superar as limitações da FFT, este trabalho recorre à análise espectral por ôndulas (*wavelets)* para estimar dados batimétricos. A nova metodologia de processamento de imagens mostra resultados positivos e promissores para mapear ambientes marinhos pouco profundos.

Palavras-chave: batimetria, comprimento de onda, imagens de SAR, transformada por *Wavelet*.

1. INTRODUÇÃO

Os fundos marinhos na zona costeira são ambientes extremamente dinâmicos onde a morfologia de fundo pode sofrer variações significativas num curto período de tempo. Devido à rápida variação da batimetria, a existência de dados recentes e atualizados sobre a morfologia do fundo do mar é crucial, principalmente para operações portuárias, mas também para monitorização da influência de estruturas e obras costeiras (por exemplo, as alimentações de praia) ou em estudos de erosão costeira. Assim, monitorizar a morfologia do fundo marinho com regularidade tem especial relevância tendo em conta a sua dinâmica e a importância que o conhecimento do mesmo tem nas atividades descritas anteriormente.

Tradicionalmente, a aquisição de dados batimétricos é realizada com sistemas de feixe simples ou multifeixe. Estes tipos de sistemas baseiam-se no tempo de ida e volta que um sinal acústico demora a propagar-se desde a superfície até ao fundo da coluna de água. A utilização destes sistemas está, no entanto, limitada pelas condições marítimas e meteorológicas, o que implica que em alguns períodos do ano seja impossível a realização de campanhas hidrográficas devido às condições marítimas e atmosféricas desfavoráveis em zonas costeiras particularmente energéticas. Além disso, os custos operacionais associados a estas campanhas são demasiado elevados, pelo que, a sua utilização é realizada com uma regularidade inferior ao desejável. Devido a estas limitações, imagens geradas a partir de técnicas de deteção remota por satélite têm sido cada vez mais utilizadas para estimativas batimétricas (por exemplo: Mishra *et al.,* 2014; Pereira *et al.,* 2019).

Os sistemas de deteção remota por satélites, apresentam também a vantagem de cobrir uma área mais alargada e efetuar uma monitorização temporal mais regular. Apresentam, no entanto, menor resolução e precisão nos resultados do que os métodos tradicionais. Um dos sensores que permite gerar imagens da superfície livre do oceano é o SAR: *Synthetic Aperture Radar* - Radar de Abertura Sintética. As imagens de SAR são imagens que permitem estimar o comprimento de onda utilizando técnicas de análise espectral. A utilização deste tipo de imagens para inferir a batimetria é possível por duas razões: (i) as ondas, à medida que se propagam em direção à costa, sofrem variações no seu comprimento de onda, a partir do momento em que a profundidade é menor do que metade do comprimento de onda, e (ii) os sensores SAR conseguem captar variações na rugosidade da superfície oceânica associadas ao comprimento de onda. A variação da altura das ondas reflete diferentes tons de cinza nas imagens SAR. Assim, as cristas das ondas terão valores numéricos mais altos do que as cavas, permitindo observar os padrões de ondulação existentes no momento da captura da imagem. Estimando o comprimento de onda, pode-se inferir a profundidade do fundo do mar utilizando a relação de dispersão da teoria linear de ondas.

Atualmente, a metodologia de análise espectral mais utilizada para estimar o comprimento de onda é a *Fast Fourier Transform* (FFT). No entanto, estudos anteriores mostram que esta técnica apresenta incertezas significativas e grandes limitações e erros próximos da costa (Pereira *et al.,* 2019). Assim, urge desenvolver estratégias alternativas de monitorização da evolução morfológica em zonas costeiras. Na tentativa de desenvolver uma nova metodologia, o projeto "NAVSAFETY – Tecnologias emergentes de deteção remota no suporte em tempo real à segurança da navegação em zonas portuárias" procura utilizar a *Wavelet Transform* (WT) para inferir a batimetria em zonas costeiras.

Este trabalho apresenta resultados alcançados por esta nova metodologia, explorando as suas capacidades quando aplicada a imagens de dados sintéticos e de SAR.

2. MÉTODOS

2.1. Wavelets vs FFT

A transformada de Fourier expressa um sinal em termos de funções de base sinusoidal, isto é, como uma soma de funções de senos e cossenos com amplitudes e fases específicas. Uma vez que apenas possui resolução no domínio da frequência, apenas é possível determinar quais as frequências (comprimentos de onda) presentes num sinal, mas não a sua variação ao longo do tempo (espaço). Desta forma, para ser possível obter a batimetria em toda a área coberta pela imagem é utilizada uma metodologia que considera várias células 2D da superfície livre da água centradas numa grelha de pontos. A profundidade é estimada em cada ponto da grelha a partir do conhecimento do comprimento de onda dominante na célula centralizada naquele ponto. A escolha do tamanho da célula deve considerar que cada célula precisa conter informações suficientes sobre as características da onda para permitir uma identificação adequada do comportamento da onda dominante naquela zona. Contudo, não pode cobrir uma área muito vasta, uma vez que as ondas podem já apresentar características distintas nessa célula.

A transformada por *wavelets* aparece como uma solução recente para superar as deficiências da transformada de Fourier. A ideia é decompor o sinal em várias partes e depois analisar as partes separadamente. Além de representar um sinal no domínio do tempo, fornece a evolução da frequência nesse domínio temporal. Portanto, as *wavelets* viabilizam uma análise de tempo-frequência flexível, fornecendo informações sobre o "quando" e "onde" diferentes componentes de frequência ocorrem. Desta forma, não existe a necessidade da utilização de células, o que no presente contexto, possibilita obter resultados da profundidade da coluna de água nas zonas próximas à costa.

2.2. Dados sintéticos e Imagens de SAR

As imagens de satélite permitem a cobertura de uma área alargada, pelo que é difícil fazer uma validação com dados reais devido à escassez dos mesmos. Desta forma, a aplicação da WT foi inicialmente testada com imagens geradas a partir de dados sintéticos. A vantagem dos dados sintéticos é que se sabe exatamente qual a batimetria que deve resultar da aplicação dos métodos, algo que não é possível com imagens reais. Para gerar imagens sintéticas semelhantes às imagens de SAR eram necessários dados relativos a padrões de ondulação. Para obter esses dados utilizou-se um modelo de propagação de ondas que resolve as equações de *Boussinesq.* O modelo selecionado foi o FUNWAVE-TVD, um modelo amplamente utilizado pela comunidade científica para modelar ondas costeiras. Assim, as imagens sintéticas da superfície livre foram geradas a partir dos *outputs* do FUNWAVE-TVD relativos à propagação de ondas sobre diferentes batimetrias definidas no modelo.

Após o desenvolvimento e validação da metodologia com dados sintéticos, esta foi aplicada a imagens reais do Sentinel 1-A de modo a avaliar a sua eficácia em estimar a batimetria. Neste caso, os resultados das estimativas da batimetria em imagens de SAR foram comparados com dados retirados do sítio do Instituto Hidrográfico (https://www.hidrografico.pt/op/33).

3. RESULTADOS

3.1. Dados sintéticos – ondas regulares

Embora o oceano apresente padrões de ondulação irregulares, inicialmente realizaram-se simulações com padrões gerados por ondas regulares de modo a verificar as vantagens e as limitações da WT comparativamente à FFT.

A Fig. 1a apresenta a propagação de uma onda regular com uma altura significativa da onda de Hs=2m sobre um perfil transversal de praia com uma barra submersa. Na Fig. 1b estão representados os resultados da estimativa da profundidade e os erros relativos associados à aplicação da FFT e da WT. A utilização da FFT com células de dimensão 2000 m levou a erros relativos superiores a 10% em todo o domínio (média de 23%), verificando-se assim uma sobrestimação em relação à batimetria real usada no modelo em todo o domínio de resultados. Nos primeiros 1000 m desde a linha de costa, nenhuma profundidade de água foi determinada (metade do tamanho predefinido das células).

Os resultados obtidos com a WT, mostram que há praticamente uma sobreposição entre o perfil de fundo real e o estimado, indicando uma alta precisão ao longo de todo o perfil transversal. Praticamente em todo o domínio, os erros são muito pequenos (média de 0.9%), excetuando quando as mudanças no fundo do mar são repentinas. Isso é evidenciado na zona da barra submersa. Perto da linha de costa (x=0 m a

x=500 m), as estimativas de erro poderão estar associadas a problemas relacionados com os limites do sinal ou com a própria validade da relação de dispersão linear nesta zona pouco profunda. Não obstante, é de realçar o facto de a metodologia ser capaz de detetar e representar a presença da barra submersa. Desta forma, observam-se melhorias consideráveis na reprodução da batimetria em todo o domínio espacial, pelo que a utilização da WT parece conduzir a resultados mais satisfatórios comparativamente à FFT.

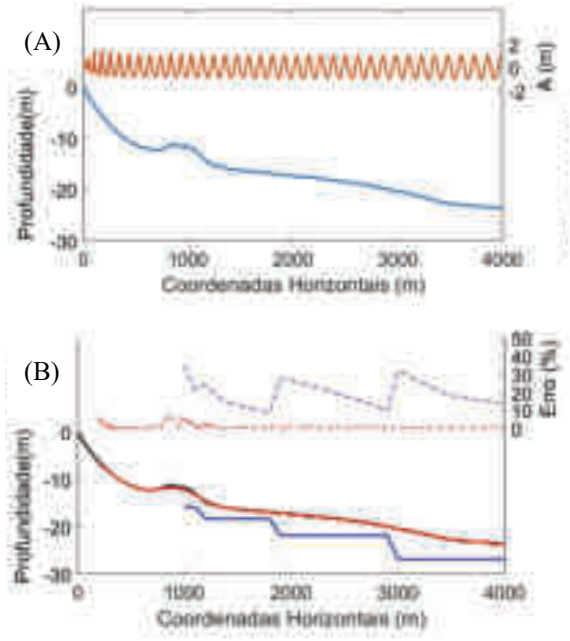


Fig. 1. (a) Propagação de ondas regulares sobre um perfil com barra submersa e (b) profundidades estimadas e respetivos erros relativos resultantes da aplicação da WT (linha vermelha e tracejado vermelho) e da FFT (linha azul e tracejado azul) ao sinal representado em 1a.

3.2. Dados sintéticos – ondas irregulares

No oceano, se as ondas fossem regulares, a utilização desta técnica traria resultados quase perfeitos. No entanto, isto não se verifica na natureza, uma vez que os sinais reais resultam da sobreposição de ondas com comprimentos de onda e direções diferentes. Portanto, espera-se que uma imagem de SAR não apresente um padrão de ondulação regular como o do teste anterior. Assim, simulou-se a propagação de ondas irregulares com uma altura significativa da onda de Hs=2m e uma direção de propagação de 30º sobre a mesma barra submersa. Para gerar as ondas irregulares foi utilizado o espectro JONSWAP com um fator Υ = 3,3 e uma gama de frequências entre 0,03 Hz a 0.3 Hz. A sobreposição de uma série de ondas harmónicas com diferentes frequências e amplitudes dificultou a aplicação direta da metodologia na obtenção dos valores dos comprimentos de onda. Desta forma, foi necessário explorar e testar soluções que ajudassem a resolver esse problema. Após vários testes, concluiu-se que realizando simultaneamente uma análise através de células, utilizando filtros e começando a análise da linha de costa para o largo, os resultados da metodologia eram otimizados. No entanto, em alguns pontos do domínio espacial, verificou-se que os valores de comprimento de onda estimados revelavam mudanças repentinas, diferindo significativamente de outras estimativas em pontos vizinhos. Para remover esses valores atípicos foi usada a mediana estatística como processo de filtragem.

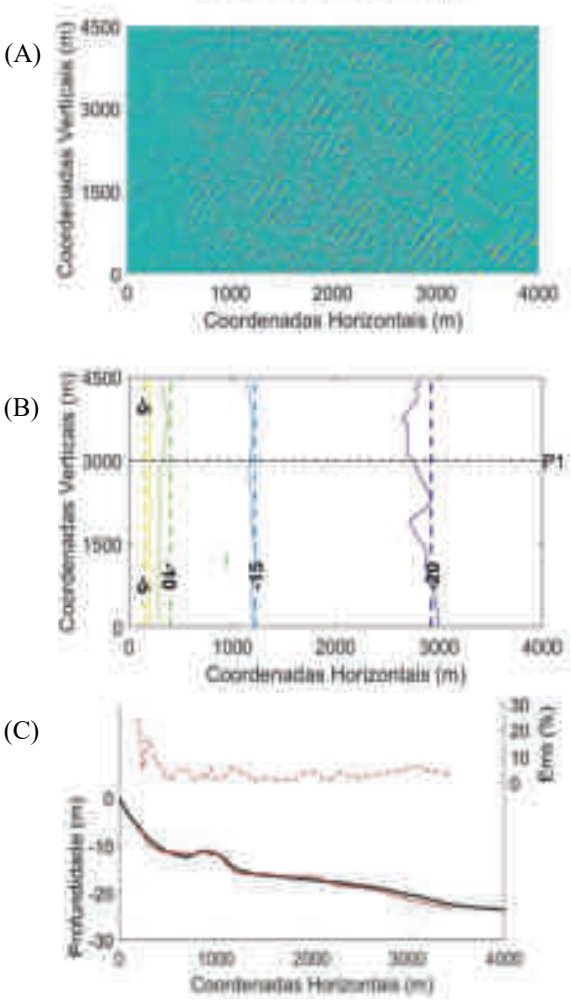


Fig. 2. (a) Propagação de ondas irregulares com uma incidência obliqua sobre um sistema com uma barra submersa, (b) isóbatas da batimetria estimada (linhas contínuas) sobre a batimetria real (linhas tracejadas) e (c) profundidade estimada e respetivos erros da aplicação da WT (linha vermelha e tracejado vermelho).

Pela Fig. 2 observa-se que as isóbatas calculadas estão aproximadamente dispostas paralelamente à costa, estando de acordo com a batimetria utilizada no modelo. A barra submersa é, igualmente, bem reproduzida. Em relação aos erros relativos, verifica-se que estes são pequenos, sendo em média 3.8%. Próximo da costa (x=0 m a x=500 m), as estimativas de erro aumentam, podendo estar associadas a problemas relacionados com os limites do sinal ou com a validade da relação de dispersão linear nessa zona. Apesar dos erros relativos na estimativa da batimetria para ondas irregulares

(3.8%) serem superiores aos da estimativa para ondas regulares (0.9%), estes continuam a ser muito menores que os da FFT para ondas regulares (23%), permitindo ainda definir a barra submersa. Assim, as estimativas batimétricas pela WT parecem conduzir a resultados mais satisfatórios que a FFT.

3.3. Dados reais - Imagem de SAR

Tendo em conta que os resultados para dados sintéticos mostraram capacidade de inferir a batimetria em sinais mais complexos, a metodologia desenvolvida foi aplicada a uma imagem de satélite. A imagem selecionada foi a imagem 178a do Sentinel 1-A. Esta imagem corresponde ao troço costeiro que se estende entre Espinho e Peniche e foi obtida no dia 17 de fevereiro de 2015.

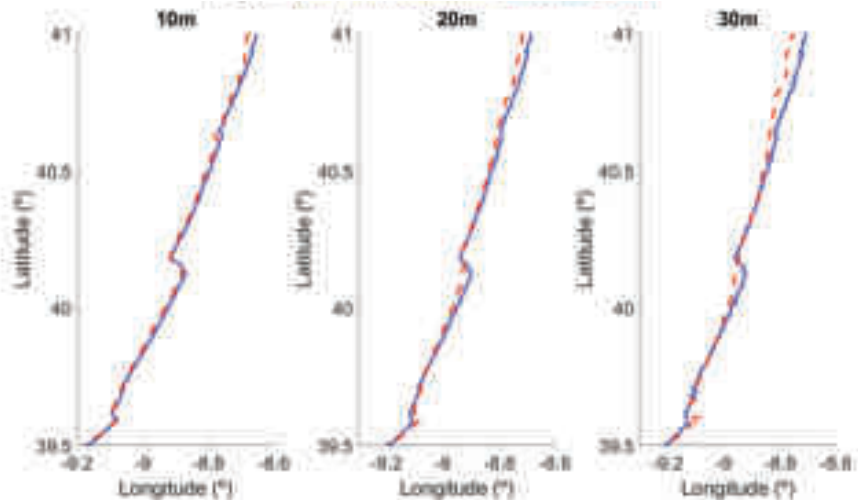
Os resultados da aplicação da metodologia desenvolvida à imagem 178a estão representados na Fig. 3. Observa-se que existe uma aproximação entre as isóbatas estimadas pelas *wavelets* e as isóbatas retiradas do site do Instituto Hidrográfico. Ao utilizar esta metodologia, respetivamente, verificaram-se erros relativos de 21%, 23% e 27% nas isóbatas dos 10m, 20m e 30m. Tendo em conta que os erros são pequenos, pode-se considerar que a metodologia apresenta resultados muito satisfatórios. Quando comparada com a FFT, verifica-se uma melhoria significativa, uma vez que, em Pereira *et al.* (2019), esta não permitia estimar valores satisfatórios abaixo dos 15m, algo que é possível com a WT.

4. CONCLUSÕES

A determinação da batimetria do fundo do mar a partir de imagens de deteção remota apresenta um processo que facilita a monitorização de áreas extensas em relação às técnicas tradicionais *in situ*. As mudanças na superfície do mar evidenciadas pelo padrão de ondulação em zonas costeiras, com base no seu comprimento de onda e altura, estão diretamente ligadas à batimetria local. Comummente, a FFT é usada para recuperar o comprimento de onda. No entanto, esta metodologia possui algumas limitações que podem ser superadas usando diferentes processos de análise de sinal.

Este trabalho considera uma análise espectral por *wavelet* para obter dados batimétricos. Esta nova metodologia de imagem é explorada com recurso a dados sintéticos e a imagens de satélite. Os resultados mostraram que a WT apresenta melhores resultados que a FFT, mesmo em casos muito simples. Para casos mais complexos, a realização de uma análise por subdomínios e a utilização de filtros também evidenciou que a WT é uma ferramenta poderosa, fornecendo estimativas muito precisas da batimetria. Quando aplicada a imagens de SAR, a metodologia também mostrou bons resultados, verificando-se erros de pequena escala entre os dados do IH e os dados estimados.

Conclui-se que esta nova metodologia é promissora, verificando-se uma clara melhoria quando comparada à FFT, uma vez que permite estimar valores até à linha de costa com elevada precisão o que não era possível na FFT.



Legenda: Valor estimado wavelets - Isóbatas IH.

Fig. 3. Resultados da aplicação da metodologia desenvolvida à imagem 178 do sentinel 1-A

REFERÊNCIAS

Mishra, M.K.; Ganguly, D.; Chauhan, P.; Ajai. (2014). Estimation of coastal bathymetry using RISAT 1 C-band microwave SAR data. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, *11(3)*, 671-675.

Pereira, P.; Baptista, P.; Cunha, T.; Silva, P.A.; Romão, S.; Lafon, V. (2019). Estimation of the Nearshore Bathymetry from High Temporal Resolution Sentinel-1A C-Band SAR Data - A Case Study. *Remote Sens. Environ*, *223*, 166-178.

Capacidades del Servicio Hidrográfico Colombiano, para sensoramiento remoto geofísico

Oviedo, K. (1) (2); Otálora, N. (1); Jigena, B. (2); Muñoz, J. J. (2); Contreras, A. (2)

(1) Centro de Investigaciones Oceanográfica e Hidrográficas del Caribe, Cartagena Colombia; Ing.karemoviedo@gmail.com; NOtalora@dimar.mil.co

(2) Universidad de Cadiz, Puerto Real (Cadiz), España; ing.karemoviedo@gmail.com; bismarck.jigena@gm.uca.es; juanjose.munoz@uca.es

Resumen: En los últimos años, el Servicio Hidrográfico Nacional Colombiano (perteneciente a la Dirección General Marítima - DIMAR) ha realizado grandes esfuerzos para adelantar investigaciones científicas multidisciplinarias en el territorio marino-costero colombiano. Adicional al mejoramiento de equipos y talento humano para optimizar sus capacidades hidrográficas, se ha ocupado en profundizar en el campo de la investigación geofísica marina. En particular, las técnicas de geomagnetismo, perfilador de subsuelo marino y sonar de barrido lateral. Como resultado de este gran trabajo se tiene en la actualidad múltiples productos y soluciones que se vienen ofreciendo en diversos aspectos como: proyectos geológicos, desarrollo de prospección arqueológica subacuática, búsqueda y rescate, e investigación científica y de reconocimiento del territorio marítimo colombiano. Todo esto encaminado a catapultar a Colombia como líder en la región en investigación oceanográfica y geofísica marítima en pro de la soberanía y el conocimiento.

Palabras clave: geofisica marina, sensores remotos marinos, Servicio Hidrografico Nacional Colombiano.

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Hidrográfico Nacional repotenció su capacidad para el desarrollo de estudios hidrográficos y geofísicos en aguas someras y offshore del Caribe y Pacífico Colombiano, con la adquisición de plataformas hidrográficas, equipos de última tecnología y software de gestión de datos batimétricos. Permitiendo así, obtener y entregar productos de óptima calidad, garantizando la seguridad de la navegación y preservación de la vida humana en el mar, así como, la adquisición de conocimiento técnico-científico de la Plataforma Continental para un completo ejercicio de la soberanía nacional.

2. DATOS Y METODOS

Partiendo de la misión que tiene la DIMAR que es la de ejercer autoridad en todo el territorio marítimo, dirigiendo coordinando y controlando las actividades marítimas fluviales y costeras con seguridad integral y vocación de servicio, con el propósito de contribuir al desarrollo de los intereses marítimos y fluviales de la nación, la DIMAR busca fortalecer cuatro intereses fundamentales como lo son: soberanía e integridad del territorio marítimo nacional, investigación científica, tecnológica y de innovación, seguridad integral marítima y recursos ambientales marino costeros. Para ellos cuenta con 4 plataformas de investigación ARC MALPELO, ARC PROVIDENCIA, ARC RONCADOR y ARC CARIBE (Fig. 1), y adicionalmente con 5 botes tipo pilot



Fig. 1. Plataformas de investigación para levantamientos de información hidrográfica y geofísica, de derecha a izquierda, ARC Malpelo, ARC Providencia, ARC Roncador y ARC Caribe.

Las embarcaciones cuentan con ecosondas fijas y portables como por ejemplo, la EM302 y la 2040P de Kongsberg, que tienen la capacidad de realizar levantamientos batimétricos que van desde los 0m a los 7000m de profundidad posibilitando una cobertura total del fondo, por medio de la cual se ejecuta la elaboración de cartas náuticas, estudios geológicos y geofísicos, exploración de recursos minerales, investigación de ecosistemas submarinos y búsqueda y rescate. El producto obtenido es una superficie que puede ser generada con diferentes resoluciones incluso a partir de los 0.5m, dependiendo de la necesidad como se aprecia en la

Fig 2. Para estos levantamientos se utilizan las normas OHI (OHI, 2008) apoyados por tecnologías de última generación como ser los sistemas GNSS, Sistemas de Información Geografica y Teledetección (Torrecillas et al. 2012, Jigena et al. 2018)

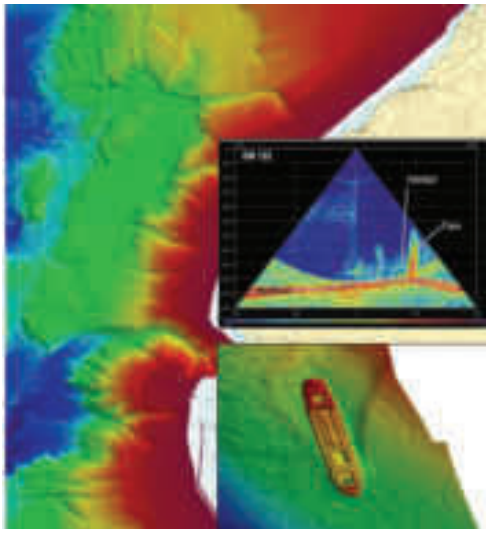


Fig. 2. Superficies generadas del levantamiento Multihaz.

De la mano con los levantamientos batimétricos, se desarrollan levantamientos de perfilador de sub fondo marino con el equipo (SBP 300) de Kongsberg, con frecuencias que van desde 2.5 a 6.5kHz (Fig. 3)

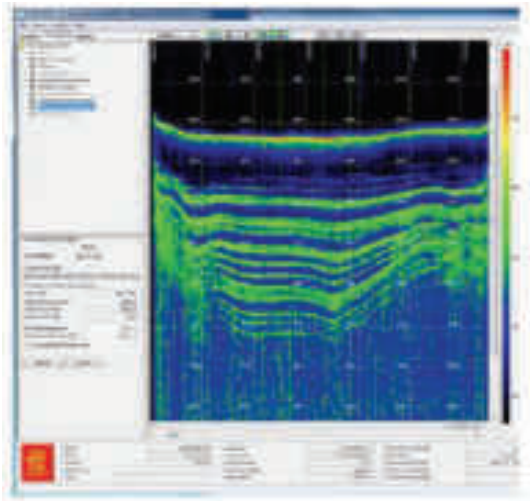


Fig. 3. Ejemplo de visualización de la adquisición de información de perfilador del sub fondo marino con el equipo SBP 300 a bordo del buque ARC Malpelo.

Se alcanzan hasta 100m de penetración y que permiten la identificación de fallas en la corteza oceánica, determinación de capas de isocapas (mismo tipo de sedimento), estudios de dinámica sedimentaria, arqueología submarina, búsqueda de objetos hundidos, búsqueda de fuentes hidrotermales y la obtención de volúmenes de sedimentos para trabajos de dragado (Muñoz-Perez et al., 2000, Pranzini et al., 2018).

Adicionalmente se cuenta con Sonar de barrido lateral (Fig. 4) que ha permitido desarrollar con eficacia la búsqueda y rescate (Muñoz-Perez et al., 2015), así como el desarrollo de estudios Arqueológicos (PCS), inspección de cables y tuberías submarinas, estudios geológicos y geofísicos, para ello se cuenta con el equipo pulsar de Kongsberg que maneja unas frecuencias de 500Khz a 1000Khz y trabaja hasta una profundidad máxima de 300m.

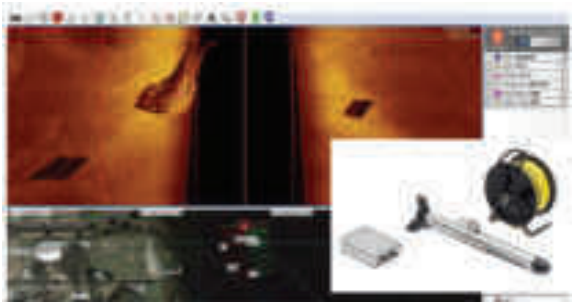


Fig. 4. Imagen de levantamiento en tiempo real del Sonar de barrido lateral Pulsar de Kongsberg.

Siguiendo la línea de los equipos geofísicos se tiene el magnetómetro marino de vapor de cesio de Geometrics G-882, apto para realizar levantamientos regionales y locales y con el cual se han obtenido grandes resultados (Fig. 5) que van desde la caracterización geológica hasta la identificación de sitios susceptibles de ser patrimonio cultural sumergido de la nación gracias a su tecnología y alta sensibilidad del sensor.

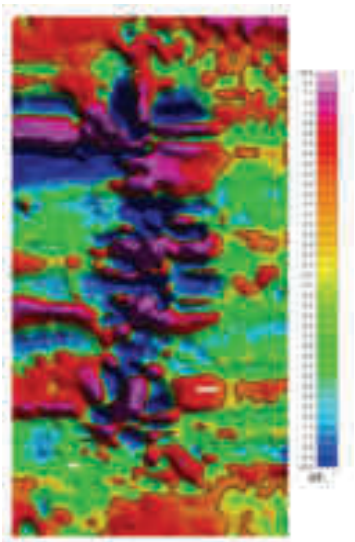


Fig. 5. Superficie magnética del subsuelo marino para la detección de un pecio sedimentado.

Los productos generados son superficies magnéticas que brindan información geofísica acerca del estudio de la actividad de las dorsales oceánicas, arqueología submarina, búsqueda y rescate de objetos ferromagnéticos hundidos o enterrados y la búsqueda de recursos minerales.

Con la integración de las fuentes de información de los sensores anteriormente mencionados, Colombia se destaca en la región por la generación de información y producción científica de interés local y global, ya que por ejemplo se ha llegado a una caracterización detallada de la geomorfología del fondo marino (Fig. 6) en el territorio marítimo del caribe colombiano y se suman esfuerzos en la actualidad para alcanzar dicha caracterización en el pacifico colombiano.

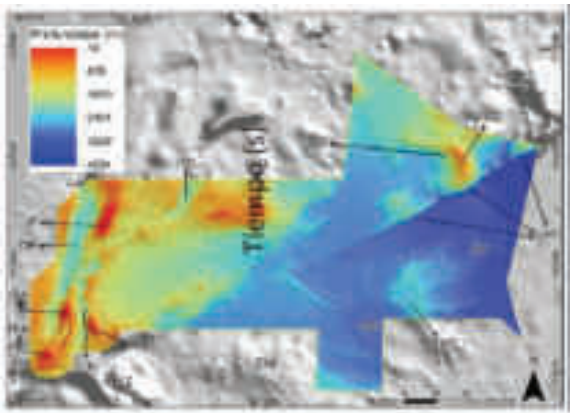


Fig. 6. Cálculos de profundidades para la caracterización de geoformas en el fondo marino del caribe colombiano

Esta sinergia también ha permitido brindar soluciones eficaces y eficientes en la búsqueda y rescate puesto que se han realizados ejercicios en conjunto con la Armada de Colombia como se muestra en la figura 7, y algunos de búsqueda y salvamento en mar y rio como se muestra a continuación en los ejemplos de las figuras 8, 9 y 10.



Fig. 7. Levantamiento batimétrico del submarino ARC PIJAO de la Armada Nacional.

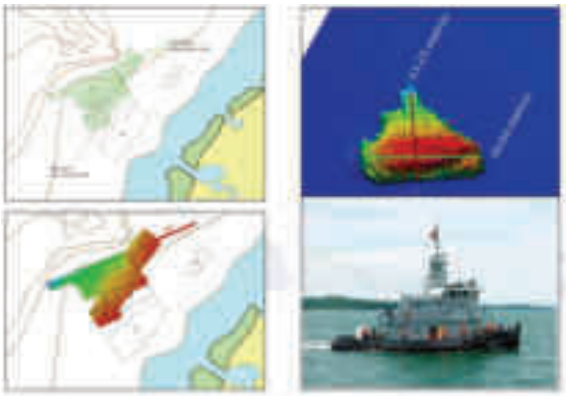


Fig. 8. Levantamiento batimétrico del remolcador ARC Andagoya de la Armada Nacional que naufragó en el año 2018.

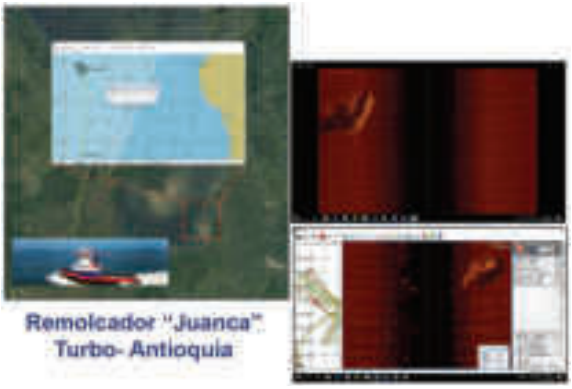


Fig. 9. Detección en tiempo real del remolcador "Juanca" en el golfo de Urabá



Fig. 10. Detección en tiempo real con magnetómetro y sonar de Barrido lateral de lancha de infantería, en el Rio San Juan. Que fue reflotada posteriormente.

3. CONCLUSION

Las capacidades fortalecidas en los últimos años son el resultado de una búsqueda incansable de la excelencia y un trabajo constante por la obtención de datos que permitan producir y divulgar la información necesaria para garantizar la seguridad marítima, un concepto que involucra de forma integral la seguridad de la vida humana en el mar, la protección del medio

ambiente marino y la seguridad de la navegación, lo cual ha llevado a que Colombia se perfile como una potencia bioceánica de la región.

Agradecimientos

A la Dirección General Marítima y al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, por apoyar las nuevas iniciativas y brindar las herramientas para consolidar nuestro país marítimo.

REFERENCIAS

Berrocoso M., Torrecillas C., Jigena B. and Fernández-Ros A. 2012. Determination of geomorphological and volumetric variations in the 1970 land volcanic craters area (Deception Island, Antarctica) from 1968 using historical and current maps, remote sensing and GNSS. Antarctic Science, Vol 24(4), pp 367–376, doi:10.1017/S0954102012000193

Dimar. (2020) Capacidades Acusticas SHN WEBINAR. https://cloud.dimar.mil.co/index.php/s/WjnNQhQVpmBqQ6X

Jigena B., Mamani R., Muñoz-Perez J.J., Garvi D., Walliser M., Calderay F. & Berrocoso M. 2018. Methodology for hydrological information management in waterways: Application to Bolivia. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 9, núm. 4 (2018), pp 237-256. DOI: https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-v9-n4

Muñoz-Pérez, J. J., Gutiérrez Mas, J. M., Naranjo, J. M., Torres, E., Fages, L. (2000). Position and monitoring of anti-trawling reefs in the Cape of Trafalgar (Gulf of Cadiz, SW Spain). Bulletin of Marine Science, 67(2), 761-772.

Muñoz-Perez, J. J., Khan-Mozahedy, A. B. M., Neves, M. G., Tejedor, B., Gomez-Pina, G., Campo, J. M., & Negro, V. (2015). Sinking of concrete modules into a sandy seabed: A case study. Coastal Engineering, 99, 26-37.

OHI (Organizacion Hidrografica Internacional). 2008. Normas de la OHI para los levantamientos hidrograficos. Publicación Especial No. 44, 5a Edición, Febrero 2008, Publicado por el Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco.

Peláez, J.,Oviedo, K., (2015). Metodología General Para Adquisición y Procesamiento de Datos Geomagneticos. Direccion general Maritima - DIMAR. Centro de Investigaciones Oceanográsficas e Hidrográficas del Caribe - CIOH.

Pranzini, E., Anfuso, G., Muñoz-Perez, J.J. (2018). A probabilistic approach to borrow sediment selection in beach nourishment projects. Coastal Engineering, 139, 32-35.

Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. E. 1990. Cambridge University Press, 2nd Edition, OnlineISBN: 9781139167932. DOI:https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932

Udias Vallina, Agustin. 1997. Fundamentos de Geofísica. Editorial Alianza, 476 pp, ISBN: 9788420681672.

Implementación del método geomagnético marino en el conocimiento del territorio marítimo colombiano

Oviedo, K. (1) (2); Jigena, B. (2); Muñoz, J. J. (2); Otálora, N. (1); Contreras, F. (2)

(1) Centro de Investigaciones Oceanográfica e Hidrográficas del Caribe, Cartagena Colombia; Ing.karemoviedo@gmail.com; NOtalora@dimar.mil.co

(2) Universidad de Cadiz, Puerto Real (Cadiz), España; ing.karemoviedo@gmail.com; bismarck.jigena@gm.uca.es; juanjose.munoz@uca.es

Resumen: El Servicio Hidrográfico Nacional Colombiano encabezado por la Dirección General Marítima – DIMAR, ha desarrollado en los últimos años el método geomagnético marino en aras de fortalecer la investigación científica de territorio marítimo colombiano. En este sentido, se ha fortalecido con la adquisición de sensores de última tecnología, así como de capacitaciones y personal especializado en el método geofísico. La implementación del método geomagnético no solo ofrece la oportunidad de avanzar en el conocimiento científico básico, sino que también es de suma importancia como apoyo en lo que concierne al tema de la soberanía nacional. Los usos más representativos del método geomagnético, y de mayor interés para la DIMAR son: localización de tuberías y detección de artillería enterrada, identificación de sitios de interés arqueológico, y caracterización de estructuras geológicas, entre otras aplicaciones.

Palabras clave: Geomagnetismo marino, Geofisica marina, DIMAR.

1. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocida la utilización del método geomagnético a nivel mundial, por sus diversas aplicaciones de forma local, y regional. Debido a sus altos costos (que implica equipamientos y desarrollo logístico) y múltiples aplicaciones, este método geofísico es generalmente realizado por empresas privadas extranjeras con fines comerciales, lo cual se convierte en una desventaja para las entidades estatales dedicadas a la ciencia y la investigación marina, que cuentan con asignaciones presupuestales limitadas. Por lo tanto, se puede resumir que la exploración geofísica es dominada por empresas extranjeras consolidadas que componen todo el mercado, incluidos esos servicios de poca oferta como lo son gravimetría y magnetometría (Gallego et al., 2015)

La Dirección General Marítima (DIMAR) dio inicio al proyecto "Geomagnetismo Marino" en el año 2015, con el fin de recuperar la capacidad investigativa, a través de la utilización del magnetómetro marino G-882 de Geometrics. Una de las actividades de recuperación, incluía capacitación sobre el manejo del sensor magnético y la adquisición de datos. Por lo anterior, se elaboró un documento (DIMAR et al., 2015) donde se recopiló una vasta base de datos y manuales que sirvieron de base para la elaboración de la siguiente metodología de trabajo geofísico

2. METODOLOGIA

FASE 1. Planeación de la campaña de adquisición.
En esta etapa se da inicio al establecimiento de la forma del levantamiento geofísico, se estiman los tiempos, los insumos necesarios y los posibles imprevistos que se pueden presentar en altamar.
Antes de realizar la planeación de la adquisición de datos, inicialmente se debe tener en cuenta el objetivo de estudio y la escala de trabajo (local o regional). De éstos dependerá la configuración y la extensión de las líneas a adquirir (ver Fig. 1).

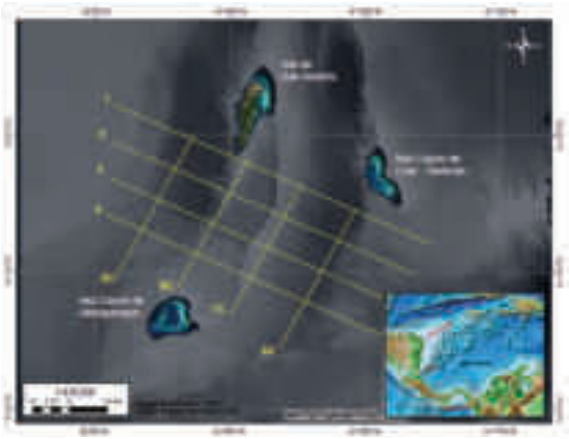


Fig. 1. Líneas y Zonas de levantamiento.

Es necesario contar con información magnética adicional, ya sea de observatorios magnéticos o de una estación base cercana al área de levantamiento, con el fin de mejorar la calidad de la información. Para este caso se utiliza una estación base G-862 RBS Geometrics (Fig. 2)



Fig. 2. Instalación de Estación Base Geometrics RBS G-862.

FASE 2. Adquisición de la información

Las plataformas de investigación oceanográfica ARC Roncador, ARC Malpelo y ARC Providencia, están capacitadas para operar con el magnetómetro marino Geometrics G-882(Geometrics, 2005), propiedad de la DIMAR. Este tiene un rango de detección amplio para materiales ferrosos de varios tamaños y una sensibilidad <0.004 nT/ πHz rms, lo que aumenta la probabilidad de detección. Cuenta además con un diseño hidrodinámico que ayuda a disminuir la probabilidad de incrustación en rocas, y opera hasta aproximadamente 2750 m de profundidad, con temperaturas desde - 35°C a 50°C. El sensor de vapor de cesio, se encuentra en la parte posterior del "pescado" en el cilindro que forma una T con el eje más largo (Fig. 3), en donde se puede modificar la orientación del sensor, que será vertical ya que el trabajo se llevará a cabo en latitudes ecuatoriales. Finalmente, el Intervalo de muestreo desde una (1) muestra cada 3 segundos, hasta veinte (20) muestras por segundo, con una exactitud absoluta de <2 nT.



Fig. 3. Plataforma de investigación ARC Providencia, Magnetómetro marino Geometrics G-882, Winche de investigación geofísica de 2800 m a bordo del ARC Providencia.

Para salir a campo se debe tener en cuenta algunos elementos indispensables para llevar a cabo la adquisición de una manera óptima. Por ejemplo, el sensor magnetométrico, el winche portable que cuenta con 300 m de cable de telemetría, que se adapta perfectamente para llevar a cabo la recolección de la información geofísica. Por otra parte, el buque ARC Providencia tiene una adaptación especial, ya que cuenta con un winche de 2800 m de cable de telemetría y una adaptación abordo en el laboratorio de geología (laboratorio del buque), en donde se encuentra el centro de cómputo, y en donde los datos magnéticos son visualizados y almacenados en tiempo real (Fig. 4).

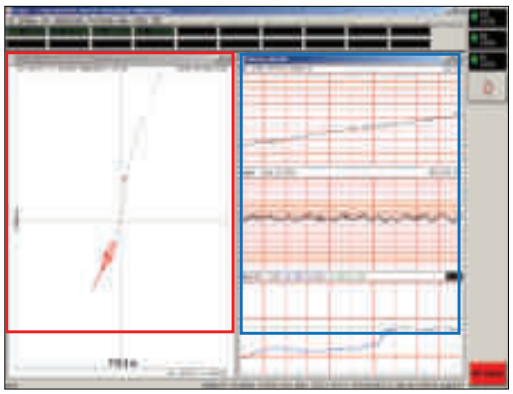


Fig. 4. Visualización en tiempo real de información geomagnética en el software MagLog.

La adquisición se realiza con ayuda del personal del buque, y teniendo en cuenta ciertos lineamientos, como por ejemplo una velocidad máxima de 5 nudos y una separación del sensor de por lo menos 3 veces, la eslora del ARC Providencia es de 50 m, por lo tanto la separación del sensor sería de 150 m, como mínimo. Importante tener en cuenta que debe de estar en modalidad arrastre por popa. Para la georreferenciación de los datos adquiridos se siguen las normas de la OHI (OHI, 2008) y también se ha tomado en cuenta la metodología propuesta por Jigena et al. (2016)

Las distintas etapas involucradas en la adquisición de información geomagnética marina, están sometidas a una serie de decisiones que pueden afectar radicalmente el resultado final de la investigación. Existen varios errores usuales que se pueden cometer a lo largo del proceso, los que se pueden dividir según la etapa de desarrollo en la que se encuentre el estudio. Existen, por lo tanto, errores frecuentes relacionados con la planeación, que involucran un mal diseño de las líneas a adquirir, en donde puede ser difícil discernir la forma exacta y tamaño de la anomalía; una medición tiene interés solamente si se conoce el margen de error que puede tener esta medida. Lo que se interpreta, es una colección de datos, por lo que el muestreo tiene que ser de acuerdo con la dimensión del objetivo a alcanzar. Otro tipo de errores están asociados con los equipos de medición,

que puede inducir a lecturas erradas, y afectar la calidad de los datos; errores de los operadores, errores de muestreo, y errores asociados a ruido ambiental, entre otros.

3. RESULTADOS

En el ejercicio de la aplicación metodológica, se presentaron algunos contratiempos en cuanto a lo planeado, esto debido a temas logísticos de la embarcación, también cabe mencionar que el levantamiento de información fue realizado a bordo del buque ARC Roncador con un winche portable de 300m. El arreglo geométrico tuvo que ser un poco menos extenso que el planeado originalmente como se observa en la figura 5.

El estudio geofísico comprende los datos recolectados entre los días 20 de Junio y 1 de Julio de 2018, en una zona al sur de la Isla San Andrés, con cuatro líneas perpendiculares a la dirección general de las estructuras geológicas, con una longitud máxima de 70,67 km, y cuatro líneas en sentido paralelo a dichas formaciones y 31 km de longitud máxima, se conserva un arreglo geométrico en forma de grilla que permita brindar una buena resolución para un estudio geológico regional.

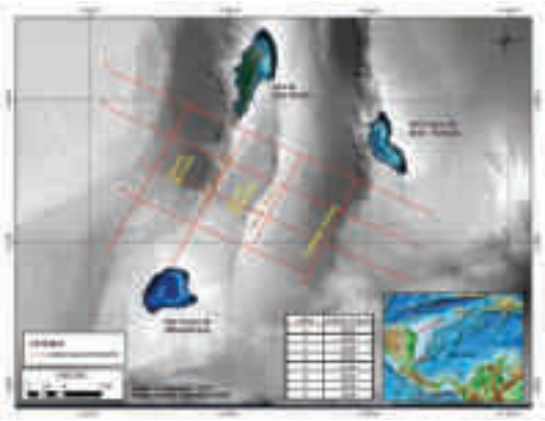


Fig. 5. Arreglo geométrico de la adquisición geomagnética..

Se presenta el mapa de campo total de los datos levantados (Fig. 6). Allí se observa la superficie magnética de los datos adquiridos luego de ser sometidos al procesamiento en donde tuvieron correcciones de variación diurna, retraso, orientación en grados y del modelo del campo geomagnético internacional (IGRF). Se observa una anomalía significativamente positiva en la zona este, sobre la Depresión Nutibara. Las variaciones en nanoteslas se visualizan en un rango de (-170.48nT a 159.37nT)

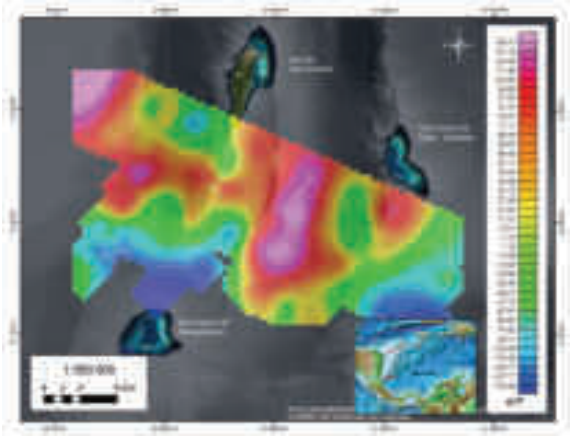


Fig. 6. Superficie geomagnética del campo total con correcciones.

4. CONCLUSIONES

- La metodología para la adquisición geomagnética marina se convierte en el primer precedente de investigación geofísica marina al servicio de la soberanía colombiana.
- Aunque la exploración geofísica es dominada por empresas extranjeras consolidadas, la DIMAR, ahora se encuentra en la capacidad de ofertar servicios geofísicos de magnetometría.
- Luego de muchos esfuerzos y pruebas de campo en el Caribe Colombiano, se logra obtener la estandarización del procedimiento de adquisición geomagnética como un producto metodológico que ofrece una obtención de información geomagnética marina de alta calidad

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto “Geomagnetismo Marino” de la Dirección General marítima y el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, a quienes los autores agradecen por todo el apoyo prestado en dicha labor, también se reconoce la excelente labor del personal del buque oceanográfico ARC Roncador por su entrega y profesionalismo.

REFERENCIAS

Anon. (1988). 1987 International geoscience and remote sensing symposium - IGARSS ’87 - Remote sensing: Understanding the earth as a system. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(5), 502–698.

Ariffin, K. S. (1879). Geophysical Surveying Using Magnetics Methods. Geofizik Carigali, 1–35.

Carvajal, L. C., & Mann, P. (2015). Petroleum System Analysis of the Nicaraguan Rise and Colombia Basin : A Regional Overview from Seismic and Well Data *. Search and Discovery, 10736.

Carvajal-Arenas, L. C., & Mann, P. (2018). Western Caribbean intraplate deformation: Defining a continuous and active microplate boundary along the San Andres rift and Hess Escarpment fault zone, Colombian Caribbean Sea. AAPG Bulletin, 102(8), 1523–1563.

Concha, A. E., & Macía, C. (1993). Caracterización y Clasificación geoquímica de las Rocas volcánicas de Providencia en el Caribe colombiano. Geología Colombiana, 18, 137–142.

Couch, R., & Woodcock, S. (1981). Gravity and structure of the continental margins of southwestern Mexico and northwestern Guatemala. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 86(B3), 1829–1840.

De Albornoz, F. J. P. C. (2002). El Instituto Hidrográfico de la Marina. Arbor, 173(682), 365-883.

Denver Processing Center Inc. (1979). Los Cayos area of Caribbean Sea.

DIMAR, Peláez, J., & Oviedo, K. (2015). Manual de adquisición y procesamiento de información geomagnética. 180.

Ecopetrol. (1984). Interpretación geológica preliminar de la información sísmica del programa Los Cayos - 82". 52 p.

Gallego, J. M., Jaramillo, H., & Patiño, A. (2015). Servicios intensivos en conocimiento en la industria del petróleo en Colombia. Servicios Intensivos En Conocimiento En La Industria Del Petróleo En Colombia.

García, J. I., García-varón, J., & León, H. (2018). SUBMARINE GEOMORPHOLOGY AND GEOTECTONIC CONTEXT OF AN INTRAPLATE VOLCANIC PROVINCE IN WESTERN COLOMBIAN CARIBBEAN.

Geotem. (n.d.). Geotem - Magnometría Marina. Retrieved June 9, 2020, from http://www.geotem.com.mx/marinos4.php

Geister, J., & Díaz, J. (2002). Ambientes arrecifales y geología de un archipiélago oceánico: San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Mar Caribe, Colombia (Guía de Campo). INVEMAR, Santa Marta.

Geister, J. (1992). Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic island/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea, Colombia). Facies, 27(1), 1.

Graterol, V. (2005). Basic principles and applications of the Gravity and Magnetic Exploration methods.

Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. Cambridge University Press.

Hernandez, O. (2006). Tectonic analysis of northwestern South America from integrated Satellite, airborne and surface potential field anomalies. The Ohio State University.

Holcombe, T. L., Ladd, J. W., Westbrook, G. K., & Edgar, N. T. (1990). Caribbean marine geology; ridges and basins of the plate interior. The Caribbean Region, The Geology of North America, Vol. H, Geological Society of America, 231–260.

Introcaso, A., Ghidella, M. E., Ruiz, F., Crovetto, C. B., Introcaso, B., & Paterlini, C. M. (2008). Métodos gravi-magnetométricos modernos para analizar las características estructurales de la plataforma continental argentina. Geoacta, 33, 1–20.

Jigena,Bismarck; Berrocoso, Manuel; Torrecillas, Cristina; Vidal, Juan; Barbero, Ignacio and Fernandez-Ros, Alberto. 2016. Determination of an experimental geoid at Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. Antarctic Science, Vol 28(4), pp 277–292, doi:10.1017/S0954102015000681

Melorose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). An Introduction to Exploration Geophysics. In Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Mochales, T. (2006). Prospección magnética aplicada a la detección y caracterización de dolinas en el entorno de Zaragoza. 222.

Nabighian, M. N. (1984). Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. Geophysics, 49(6), 780–786.

NOAA, N. C. for E. I. (n.d.). Magnetic Declination, Models, Data and Services | NCEI.

OHI (Organizacion Hidrografica Internacional). 2008. Normas de la OHI para los levantamientos hidrograficos. Publicación Especial No. 44, 5a Edición, Febrero 2008, Publicado por el Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco.

UAV e câmaras multiespectrais: uma ferramenta para a estimação de batimetria e detecção de objectos em zonas rasas

Sousa, C. (1)

(1) LS – Engenharia Geográfica, Rua do Alportel nº176, 8000-291 Faro. claudio.sousa@lstopografia.com

Resumo: Após o advento comercial dos UAV, têm emergido cada vez mais tipos de sensores e equipamentos capazes de ser aero-transportados, o que permite a obtenção de dados geográficos em áreas relativamente extensas e de difícil acesso com bastante rapidez, onde os meios tradicionais não podem chegar e/ou a sua logística mais onerosa não o justifica. São exemplo disso mesmo, os sistemas de posicionamento GNSS e as mini-câmaras fotográficas multiespectrais que, quando associados, permitem a aquisição de fotografias georreferenciadas e a posterior derivação de informação geográfica. Neste artigo serão apresentados casos práticos onde a combinação destas ferramentas tem permitido estimar a batimetria em áreas rasas – através da aplicação de técnicas de processamento digital de imagem – e ainda a detecção de objectos até profundidades de 6-7 metros, que constituem um perigo à navegação.
Palavras-chave: batimetria, câmara multiespectral, informação geográfica, UAV.

1. INTRODUÇÃO

A derivação de batimetria a partir de imagens de satélite é uma técnica estudada há várias décadas e o seu uso tem sido tema de debate entre as instituições hidrográficas de vários países e a Organização Hidrográfica Internacional. Embora os modelos batimétricos obtidos através dessas técnicas não possam ter um uso pleno em cartografia náutica, é inquestionável a sua utilidade como ferramenta de reconhecimento e planeamento. O recurso a câmaras fotográficas digitais transportadas por UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) abriu um novo horizonte no contexto de operações de reconhecimento e planeamento em faixas costeiras. A autonomia, flexibilidade de utilização e o custo relativamente baixo destes sistemas, tem permitido a aquisição de dados espaciais de muito alta resolução, cobrindo zonas com dezenas de hectares e vários quilómetros de extensão em poucos minutos e possibilitando a produção de cartografia variada, tanto para estudo da linha de costa (com recurso à fotogrametria), como para estimação de batimetria em zonas rasas, quando são empregues sensores multiespectrais. A geolocalização das imagens digitais – obtida através de módulos GNSS integrados – acelera os processos de produção cartográfica e evita dispendiosos trabalhos de campo, permitindo ainda conhecer em tempo-real as coordenadas de pontos de interesse ou objectos, particularmente em zonas emersas (baixas profundidades) ou de difícil acesso. A combinação destes sistemas constitui hoje uma poderosa ferramenta de observação costeira – e de baixo custo – permitindo a filmagem ou captura de imagens com objectivos muito específicos: produção de cartografia para estudos ambientais, modelação e acompanhamento de processos de erosão, detecção de objectos submersos e estimação de batimetria.

2. DETECÇÃO DE OBJECTOS SUBMERSOS COM RECURSO A UAV E CÂMARAS FOTOGRÁFICAS DIGITAIS

Em Janeiro de 2018, durante trabalhos de dragagem no âmbito de um projecto de reforço do cordão dunar da Ria Formosa, naufragou na Barra da Armona (Olhão) o navio-draga "Brasinho", propriedade da empresa SOFAREIA S.A (Figura 1).



Figura 1. Draga de sucção "Brasinho". Fonte: SOFAREIA S.A., 2017.

Ainda durante esse mês, e apesar dos esforços realizados para fazer flutuar o navio, não houve sucesso na sua recuperação, tendo as violentas tempestades marítimas empurrado aquele para uma milha a Sul do canal de entrada (Figura 2). Foram feitos os avisos à navegação e assinalado o perigo com balizas luminosas, embora a posição do navio, com um comprimento de 60 metros, nunca tivesse ficado bem definida. A falta de informação geográfica precisa dificultou,

posteriormente, a preparação de estratégias para recuperação do navio. Seria necessário então, mobilizar meios para executar levantamentos hidrográficos com multi-feixe ou sonar lateral, naquela área, de forma a identificar a posição/orientação do navio, assim como a profundidade a que se encontrava. Optou-se em alternativa pela utilização de um UAV, como ferramenta de reconhecimento. O mesmo foi lançado para 60 metros de altitude a partir de uma pequena embarcação, executando um vôo de 10 minutos com duas câmaras fotográficas digitais e sistema GNSS integrado, uma para obtenção de imagens RGB e outra multiespectral. Após a detecção do navio, a partir do ar, iniciou-se o registo fotográfico. A primeira avaliação feita às imagens obtidas permitiu concluir que cerca de 70% do navio estava coberto por areia, formando uma espécie de recife artificial; o pós-processamento possibilitou ainda identificar a posição e orientação do mesmo (Figura 3).



Figura 2. Posição geográfica do navio. Fonte: Google Maps, 2020.



Figura 3. Imagem aérea georreferenciada, adquirida com recurso a UAV. Fonte: Sousa, C., 2019.

Numa fase posterior, seria ainda possível estimar as profundidades da zona com recurso às imagens multiespectrais, e estudar estratégias para dragagem e posterior recuperação do navio. Na data de aquisição das imagens (Maio de 2019) o navio encontrava-se com a quilha ao alto e orientado no sentido SW-NE (popa-proa), formando uma espécie de dique e acumulando visivelmente areia a estibordo, estando a proa a descoberto e a popa completamente coberta de sedimentos cuja orientação do fluxo contribuiu para as profundidades observadas (1 metro a estibordo e 3,5 metros a bombordo).

3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA DE ZONAS COSTEIRAS COM RECURSO A VÔO AUTÓNOMO

Várias décadas passaram após as primeiras experiências para demonstrar a aplicação de imagens multiespectrais na derivação de batimetria em zonas límpidas e de baixa profundidade. Em 1975, o oceanógrafo Jacques Cousteau e a NASA demonstraram, numa expedição em conjunto, a possibilidade de se estimar a batimetria com recurso a imagens adquiridas pelo satélite Landsat 1 (Delemotte, 2019). Apesar do enorme potencial desta técnica, a realidade é que ela tem sido sub-aproveitada e desprezada, em detrimento de métodos acústicos de elevada precisão. No entanto, tem-se verificado que, uma boa parte dos dados obtidos através do SONAR de alta resolução – e apesar da sua qualidade superior – acabam sendo utilizados para fins que não justificam o seu custo económico e ambiental, tais como a cobertura de zonas de grande extensão, para estudos científicos. A batimetria derivada de satélite é de interesse, tanto para a comunidade hidrográfica como para uma diversidade de mercados e permite obter dados de qualidade adequada a actividades do âmbito ambiental, ciências marinhas, obras costeiras, entre outras; além disso, é uma tecnologia neutra em carbono. A chegada do programa europeu Copernicus trouxe novas possibilidades no que respeita à obtenção de dados de observação terrestre/marítima, como é o caso das imagens de satélite obtidas pelo sensor Sentinel-2 MSI (Figura 4).

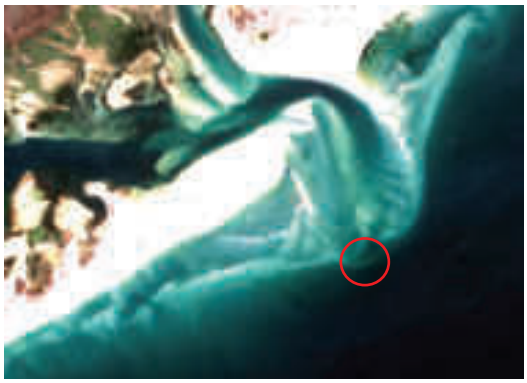


Figura 4. A Barra da Armona vista a partir do espaço (800km de altitude). A imagem captada pelo Sentinel-2 demonstra como os satélites podem ser utilizados para localizar naufrágios costeiros. Na pesquisa foi possível identificar um fluxo de sedimentos disperso pela acção das correntes de maré, que se estende a partir de um objecto (navio naufragado). Fonte: ESA, 2020.

A disponibilidade de novos sensores multiespectrais de baixo custo, associados a UAV, foi o ponto de partida para um novo

paradigma, no que respeita à obtenção de dados de observação terrestre. A sua flexibilidade de utilização permite realizar uma diversidade de tarefas e obter produtos cartográficos de qualidade adequada a missões de pesquisa. O potencial destas ferramentas é enorme e tem permitido cobrir áreas de extensão considerável e obter dados de muito alta resolução. A sua aplicação tem particular interesse no âmbito da estimação de batimetria em zonas rasas (<10 metros) com elevada dinâmica sedimentar, onde a resolução espacial é o critério determinante para a identificação de pormenores específicos.

3.1. Praia de Cacela Velha (Tavira)

A Península de Cacela Velha é um sistema dunar coberto por vegetação que separa a Ria Formosa do mar e protege essa formação lagunar contra a erosão costeira. A sua barra natural mudou de sítio ao longo da história, deslocando-se para nascente ou poente (LNEC, 2020). Tal como em outros locais da Ria Formosa, o interesse na sua caracterização topo-hidrográfica está associado a um plano de protecção ambiental regional que inclui estudos de modelação hidrodinâmica e acções específicas. Nesse âmbito, realizou-se um vôo UAV para aquisição de imagens multiespectrais e posterior derivação de batimetria, tendo em conta as limitações da utilização de imagens de satélite devido às características geográficas do local (resolução espacial insuficiente). Para esta situação específica foi utilizado um UAV de rotor com diâmetro de 335 mm equipado com duas câmaras fotográficas digitais MAPIR Survey3W (RGB e NirGB) e sistema de posicionamento GNSS. Em ambas as situações foram adquiridos blocos de imagens georreferenciadas a partir das quais se geraram ortoimagens, através de técnicas fotogramétricas (Figura 5).



Figura 5. Península de Cacela Velha - Imagem aérea ortorrectificada.. Fonte: Sousa, C., 2019.

As imagens captadas pela câmara multiespectral foram sujeitas a calibração radiométrica tendo sido escolhida uma das 3 bandas disponíveis (azul, verde, infra-vermelho) para aplicação de um método simplificado para extracção de batimetria. O critério de selecção das bandas azul ou verde é baseado na visibilidade do fundo observado nas imagens; a banda do infra-vermelho é usada como máscara para delimitação das zonas descobertas pela maré. O *standard linear algorithm* de Lyzenga (1978) assume uma relação linear entre a reflectância R(λi) e as profundidades (z):

$$z = b \log R(\lambda i) + c$$

Neste caso, o modelo resultante foi calibrado com recurso a dados topo-hidrográficos obtidos por um receptor GNSS em modo RTK, na baixa-mar; o sistema de referência vertical é o Zero Hidrográfico (Figura 6). Este método traduz-se em bons resultados para zonas muito rasas (até 4 metros de profundidade) e onde a constituição do fundo é homogénea. A incerteza vertical média alcançada (±0,50 metros) é estimada com base numa amostra de 30 pontos GNSS distribuídos espacialmente na área.

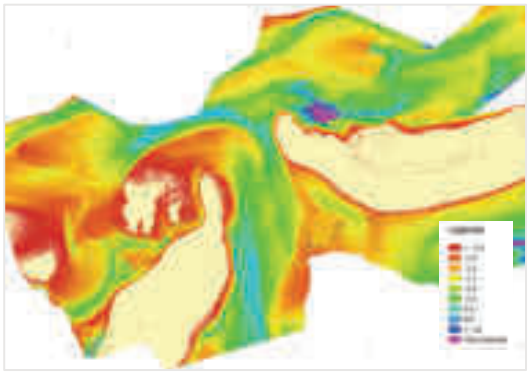


Figura 6. Península de Cacela Velha – modelo batimétrico derivado de imagens multiespectrais. Fonte: Sousa, C., 2019.

3.2 Ilha da Fuzeta (Olhão)

O canal da Fuzeta é a via marítima com cerca de 2 quilómetros de extensão que se inicia na povoação do mesmo nome, atravessando um sistema lagunar constituído por dunas e vegetação rasteira e terminando numa barra artificial. O fundo é constituído por areia fina, vegetação marinha e algum lodo característico destas zonas. Contrariamente à situação anterior, este canal tem um trânsito marítimo intenso durante todo o ano, devido à actividade comercial estabelecida naquela localidade: pesca profissional. Ao tráfego pesqueiro local há que adicionar aquele associado à pesca recreativa e ao turismo, que aumenta consideravelmente nos meses de Verão. Apesar de ser uma zona sem

cobertura cartográfica oficial, os cuidados com a segurança à navegação encontram-se materializados através de bóias e balizas de sinalização. No entanto, a hidrodinâmica do local, fortemente influenciada pelo regime de marés, conduz continuamente a alterações das principais estruturas de fundo, seja no interior do canal ou na barra – cuja posição é variável ao longo do ano – causando sérios impedimentos ao tráfego local. Tendo em consideração a segurança à navegação e os critérios anteriormente enunciados, esta é uma zona candidata a caracterização topo-hidrográfica frequente. Para esta situação particular e pela necessidade de dados de alta resolução espacial – devido às características geográficas – recorreu-se ao método descrito anteriormente, embora a logística fosse particular, uma vez que a zona tem uma extensão muito maior (Figuras 7 e 8). A resolução espacial das imagens obtidas é sempre melhor que 0,20 metros, proporcionando um excelente pormenor das principais estruturas de fundo visíveis.

utilizador – para adquirir novos dados e detectar/medir mudanças.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Actualmente, existe uma variedade de modelos UAV disponíveis no mercado, a preços moderados, aptos a transportar vários tipos de sensores e com autonomia suficiente para realizar vôos de forma automática em áreas relativamente extensas. O seu raio de alcance tem permitido – em algumas circunstâncias – a captação de imagens com interesse para a identificação de estruturas/objectos submersos em zonas rasas, distantes até 3 quilómetros do operador. Uma das grandes vantagens desta ferramenta é possibilitar a cobertura fotográfica de zonas costeiras, em circunstâncias de difícil acesso, e obter imagens multiespectrais georreferenciadas de alta resolução, para estimação de batimetria em áreas navegáveis. Este método poderá substituir o multi-feixe onde houver necessidade de uma cobertura total, mas sem os requisitos da cartografia náutica.



Figura 7. Canal da Fuzeta - Imagem aérea ortorrectificada. Fonte: Sousa, C., 2020.

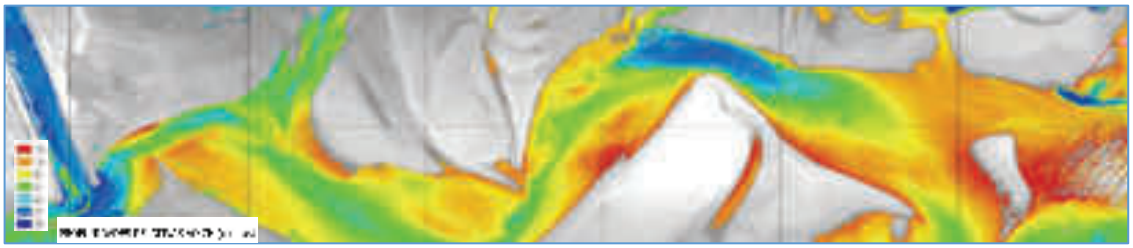


Figura 8. Canal da Fuzeta - Batimetria derivada de imagens multiespectrais. Fonte: Sousa, C., 2020.

A metodologia adoptada para derivação de batimetria é baseada no algoritmo linear de Lyzenga (1978), usando-se apenas uma banda espectral. Esta técnica permite obter bons resultados em zonas de baixa profundidade e onde a constituição do fundo é homogénea. Comparativamente aos métodos de sondagem tradicionais, a aquisição deste tipo de dados pode ter um custo final até 15 vezes inferior, e em tempo muito mais reduzido. A flexibilidade de utilização também significa que, as áreas cobertas pelo UAV poderão ser visitadas repetidamente – em calendário definido pelo

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Geyman, Emily e Maloof, Adam (2018). A simple method for extracting water depth from multispectral satellite imagery in regions of variable bottom type. *Earth and Space Science - AGU100,* EUA.

LNEC (2017). Plano plurianual de dragagens portuárias 2018-2022. LNEC, Lisboa.

Delemotte, B. (2019). Cousteau article Bernard Delemotte interview. VC, France.

Nota: este documento não utiliza o novo acordo ortográfico.

Establecimiento de una red limnimetrica en las hidrovías de la Amazonia peruana

Jigena, B. (1); Lévano, F. (2,3); Muñoz, J. J. (1); Quispe, C. (3); Rey, W. (4); Romero, J. (1); Berrocoso, M. (1)

(1) Universidad de Cádiz, Puerto Real (Cádiz), España; bismarck.jigena@gm.uca.es.

(2) Hidráulica y Oceanografía Ingenieros Consultores S.A., La Molina, Lima, Perú.

(3) Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

(4) Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Sisal, Yucatán, 97356, México.

Resumen: La determinación del nivel de referencia vertical y la pendiente hidráulica en las hidrovías de la Amazonía peruana es un problema que afecta la seguridad de la navegacion y a los proyectos de ingeniería y de investigación. Actualmente en las hidrovías de la Amazonía peruana, no se cuenta con un nivel de referencia vertical relacionado al nivel medio del mar, ni al datum altimetrico vertical del Perú. A este problema tenemos que añadir la falta de una red geodésica densificada a lo largo de estos rios y de una red limnimetrica asociada, tanto horizontal como en la vertical. El entorno geografico, la morfología y el regimen fluvial de estos rios, tampoco ofrecen condiciones favorables para su establecimiento. Presentamos los trabajos preliminares para el establecimiento de una Red Limnigráfica en la Amazonía Peruana, en los ríos Marañon, Ucayali y Amazonas, con la instalación 13 limnimetros. La red ha sido vinculada a la Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo (REGPMOC) y además se han realizado nivelaciones geometricas para la determinación del nivel de referencia vertical. Con estos trabajos lo que buscamos es definir una metodología para la determinación local del nivel de referencia vertical y mejorar la precisión el cálculo de la pendiente hidráulica, que sea aplicable a la identificación y ubicación precisa de los "malos pasos" y a los diferentes trabajos de ingeniería que requieran contar con un nivel de referencia vertical preciso y fiable.

Palabras clave: altimetria, amazonia, geodesia, hidraúlica fluvial, hidrografia, hidrologia, limnímetro.

1. INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana representa aproximadamente dos tercios del territorio. Los ríos amazónicos tienes al menos 10000 kilómetros de vías navegables naturales y unen las ciudades más importantes de esta región. En la Amazonia, la construcción y el mantenimiento de carreteras es muy costoso y en algunos casos totalmente inviable, siendo las hidrovías la mejor alternativa, pues necesitan de muy poca inversión, para su mejoramiento y mantenimiento.

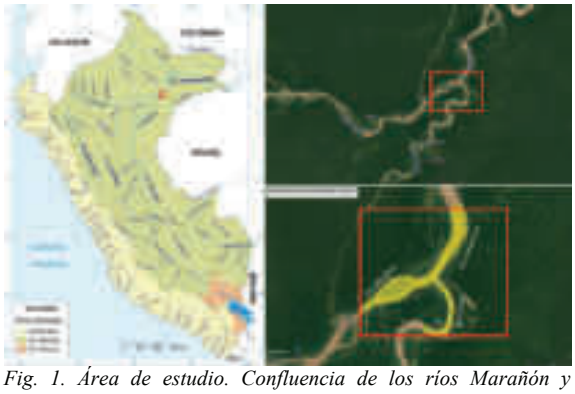


Fig. 1. Área de estudio. Confluencia de los ríos Marañón y Ucayali.

Para este estudio hemos trabajado en la hidrovía compuesta por tramos de los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas. A lo largo de esta hidrovía hay lugares denominados malos pasos, que se caracterizan por ser pasos difíciles para navegar y por lo tanto con poca seguridad en la navegación.

Los trabajos y estudios hidrográficos se referencian verticalmente a un datum vertical al que deber estar vinculado el nivel local del agua (Rice & Riley, 2011). Para la determinación del nivel de referencia vertical y de la pendiente hidráulica, es necesarios realizar trabajos previos de geodesia e hidrometría en el área de estudio (MTC 2005, 2008).

2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de Loreto (equivalente a un Estado o Provincia en otros países), en la República del Perú, a unos 100 kilómetros aguas arriba de la ciudad de Iquitos. El área de trabajo comprende la confluencia de los ríos Marañón, Ucayali y Amazonas, a 10 km aguas arriba y abajo de la confluencia de estos tres ríos. El área de trabajo se muestra en la Figura 1.

3. METODOLOGIA

Para la determinación del nivel de referencia vertical y de la pendiente hidráulica, es necesaria la aplicación de una metodología muy rigurosa y la realización de diferentes trabajos de campo, que son los siguientes:

3.1. Establecimiento de una red geodésica

Para el establecimiento de la red geodésica en el área de trabajo, se utilizó como referencia la estación LR03 (Nauta) perteneciente a la REGPMOC, que es la Red Geodésica Oficial del Perú, vinculada al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 2000 (ITRF2000). En la tabla 1 se muestran las coordenadas obtenidas para los Puntos de Control del Limnimetro (TSGBM, en inglés: Tide Staff Gauge Benchmark).

REGLA	CUTM NORTE	CUTM ESTE	UBICACIÓN
REGLA 1	9504356.97	661170.08	Río Marañón
REGLA 2	9508534.29	670241.12	Río Marañón
REGLA 3	9510808.63	672535.64	Río Amazonas
REGLA 4	9518581.29	674333.46	Río Amazonas
REGLA 5	9506752.58	672954.33	Río Ucayali
REGLA 6	9500801.43	671228.45	Rio Ucayali
NAUTA	9501931.11	656964.78	Río Marañón

Tabla 1. Coordenadas UTM (Zona 18 Sur) de las estaciones hidrométricas.

A partir de estas estaciones se establecieron las estaciones de control, vinculados a las estaciones hidrométricas. Los TSGBM fueron ubicados en sitios seguros y cercanos a la regla limnimétrica y fueron enlazados a la red geodésica REGPMOC utilizando como referencia la estación de rastreo permanente de Nauta (LR03), ubicada a unos 15 kilómetros de la zona de proyecto.

La metodología de observación GNSS-GPS fue el posicionamiento geodésico relativo con postproceso, observando datos cada segundo y con un tiempo mínimo de observación y adquisición de datos brutos de 5 horas, llegando en algunas estaciones hasta las 12 horas y 32 minutos. La observación de datos se realizó el 12 y 13 de noviembre del 2019.

Para el postproceso de datos GNSS-GPS se utilizó el programa Topcon Tools v. 8.2.3. El utilizó el formato RINEX para el intercambio de datos GNSS-GPS y toda la red fue ajustada. Las coordenadas de ubicación de las estaciones GNSS-GPS se muestra en la Tabla 1, en coordenadas UTM, Zona 18 Sur.

3.2. Establecimiento de las estaciones limnimétricas.

Una vez obtenidas las coordenadas de los puntos geodésicos se procede a la instalación de las reglas limnimétricas en las riberas de los ríos, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Regla limnimétrica instalada.

Con la regla limnimétrica instalada, se procede con la determinación de la cota cero de cada regla, para esto se realiza una nivelación geométrica diferencial desde el punto geodésico (TSGBM) hasta el espejo de agua, anotando en ese mismo instante la lectura del nivel de agua de la regla, de tal manera de que se pueda relacionar la lectura del nivel de agua tomado en la regla con la cota altimétrica del TSGBM y a su vez dar una cota al nivel del espejo de agua medido en la regla. Con esta cota del nivel del espejo de agua medido en la regla y restando la profundidad desde e espejo al fondo, obtiene la cota cero de la regla. La referenciación altimétrica de la regla se realiza como se muestra en la figura 3.

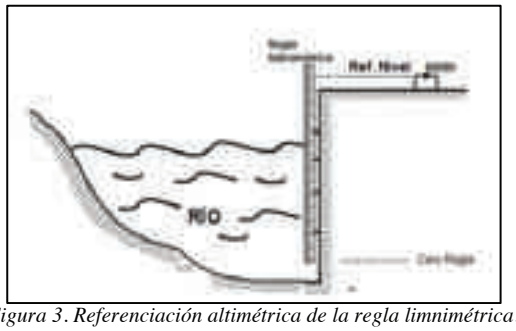


Figura 3. Referenciación altimétrica de la regla limnimétrica.

Las reglas limnimétricas fueron ubicadas en tramos rectos del río, que es donde se tiene un cauce y niveles del río más estables, ya que en un tramo curvo o meandro del río, debido a la propia dinámica del fluido, se genera una sobreelevación del nivel del agua en el exterior de la curva y una subelevación en el interior, que induce a error en las mediciones de nivel. En base a estudios previos experimentales se ha determinado que para garantizar la representatividad de la pendiente hidráulica en un río amazónico, las reglas limnimétricas deberían estar separadas al menos 10 km (MTC 2005, 2008; Galvan et al. 2017). También se sugiere la instalación de un mínimo de dos reglas limnimétricas por río. Por estos motivos se decidió la colocación de seis reglas limnimétricas en las localizaciones mostradas en la Tabla 1 y ubicadas en pares en cada uno de los ríos que son arte de este estudio. Para estos trabajos se siguieron las especificaciones OEA (2010), Jigena et al. (2014, 2016, 2018)

3.3. Registro de niveles del río y su transformación a cota Ortométrica.

Posterior a la instalación de las reglas limnimétricas se realizó el registro de los niveles de río mediante observación directa y su conversión a cota utilizando la cota cero de las reglas. Las observaciones de los niveles en las diferentes estaciones se realizaron de forma simultánea, tomando datos cada media hora y durante al menos 10 horas en cada estación. A continuación, se muestran los registros de los niveles de río durante los días de trabajo. En la tabla 2 se muestran las observaciones realizadas en las diferentes reglas, con los niveles calculados,

transformados a alturas sobre el nivel del mar utilizando el geoide EGM2008.

REGLAS	R1 (M)	R2 (M)	R3 (A)	R4 (A)	R5 (U)	R6 (U)
12/11/2019	Nivel (msnm)	Nivel (msnm)	Nivel (msnm)	Nivel (msnm)	Nivel (msnm)	Nivel (msnm)
6:30	89.58					
7:00	89.60					
7:30	89.59	88.84	88.73			
8:00	89.59	88.85	88.73	88.57		
8:30	89.60	88.85	88.73	88.58		
9:00	89.60	88.85	88.73	88.58	88.84	
9:30	89.61	88.85	88.73	88.58		
10:00	89.61	88.85	88.74	88.58		
10:30	89.61	88.86	88.75	88.58	88.85	89.02
11:00	89.62	88.86	88.75	88.59	88.85	89.02
11:30	89.63	88.86	88.75	88.58	88.85	89.03
12:00	89.63	88.87	88.76	88.59	88.85	89.03
12:30	89.63		88.76	88.60	88.86	89.03
13:00	89.63	88.87	88.76	88.61	88.86	89.04
13:30	89.63		88.76	88.60	88.87	89.04
14:00	89.63	88.88	88.76	88.61	88.86	89.04
14:30	89.63	88.88	88.76	88.60	88.87	89.04
15:00	89.63	88.88	88.76	88.61	88.87	89.04
15:30	89.64	88.88	88.76	88.61	88.88	89.05
16:00	89.64	88.89	88.76	88.61	88.88	89.05
16:30	89.65	88.89	88.77	88.62	88.88	89.06
17:00	89.65	88.89	88.77	88.62	88.88	89.06
17:30	89.65	88.90	88.77	88.62		
18:00	89.648	88.896	88.772	88.62		
CERO REGLA	**88.688**	**87.838**	**87.892**	**87.715**	**87.623**	**88.022**

Tabla 2. Lecturas en las reglas limnimétricas instaladas.

Para la instalación y referenciación de los limnimetros y determinación de la altura ortometrica referida al geoide EGM2008, se tomaron en cuenta las recomendaciones de Galvan et al (2017) y Jigena etal. (2014, 2015, 2016)

4. RESULTADOS.

A partir de los registros de niveles se han calculado las pendientes hidráulicas para los ríos Marañón, Amazonas y Ucayali. Las pendientes fueron calculadas de forma indirecta, realizando un ajuste lineal de los niveles del agua.

Para nuestro estudio y obtención de la altura ortometrica se han analizado varios modelos de geoides globales en la zona, entre ellos el EGM1996 (Lemoine et al. 1998) y EGM2008 (Pavlis et al. 2012), con los que se obtuvieron mejores resultados al tener una data más completa. Tambien se analizaron los modelos GRACE2014 y el EIGEN-6C4 que son más precisos, pero no teníamos data para nuestra área.

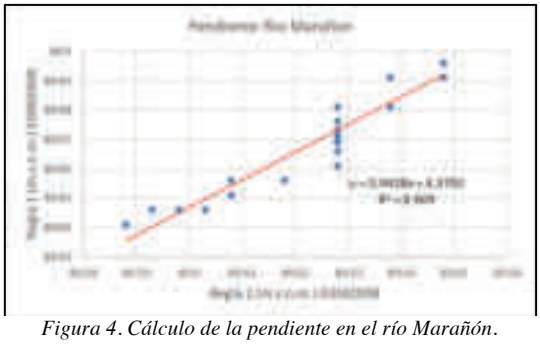


Figura 4. Cálculo de la pendiente en el río Marañón.

En la figura 4 mostramos el resultado obtenido al calcular la pendiente promedio en el río Marañón, la pendiente en el tramo entre la RL 1 (Regla Limnimétrica 1) y la RL2, donde se ha obtenido una pendiente de 0,9428 m en tramo de 10,6 km de distancia con lo que obtenemos una pendiente de 0,0001 mm/km.

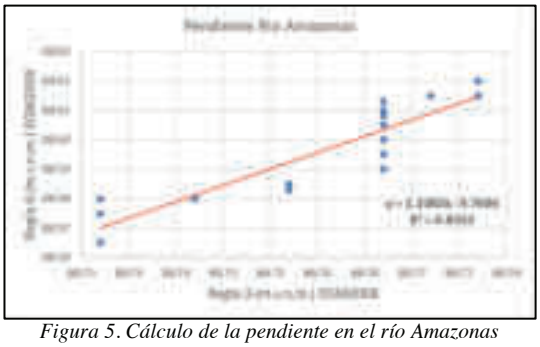


Figura 5. Cálculo de la pendiente en el río Amazonas

En la figura 5 se muestra el resultado del cálculo de la pendiente promedio obtenida para el río Amazonas, en un tramo después de la confluencia, entre las reglas RL3 y la RL4, donde se ha obtenido una pendiente de 1,1082 m en tramo de 9,1 km de distancia con lo que obtenemos una pendiente de 0,0001 mm/km.

En la figura 6 se muestra el resultado del cálculo de la pendiente promedio obtenida para el río Ucayali, en un tramo antes de la confluencia, entre las reglas RL5 y RL6, donde se ha obtenido una pendiente de 0,9908 m en tramo de 10,7 km de distancia, teniendo como resultado una pendiente de 0,0001 mm/km.

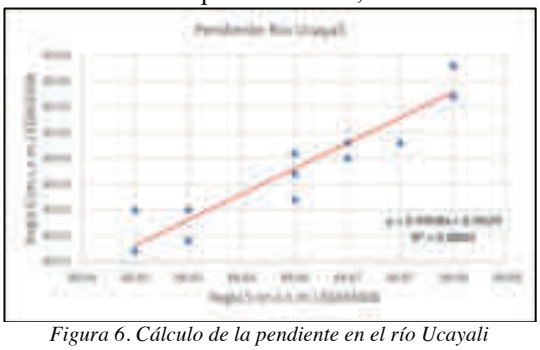


Figura 6. Cálculo de la pendiente en el río Ucayali

5. CONCLUSIONES

En el área de estudio y en general la Amazonía se tienen muy pocos datos de trabajos de altimetría de precisión, redes GNSS-GPS permanentes y puntos de gravedad, y los existentes, ya escasos, no tienen una data completa.

En la Amazonía Peruana no se tienen trabajos sobre determinación del geoide en la zona, por esta razón hemos utilizado como referencia trabajos realizados por los trabajos realizados por Jigena et al. (2014, 2016) en la Antártida y por Galván etal. (2017) en Argentina. Los resultados en altimetría de los trabajos de Galván et al. (2017) se obtuvieron utilizando los geoides globales EGM96 y EGM2008, cuyas diferencias respecto a la nivelación geodésica

fueron de ± 6 m y ± 2 m con una desviación estándar de ± 1.8 m y ± 0.9 m, respectivamente.

En general en los ríos amazónicos tenemos pendientes hidráulicas muy pequeñas y en muchos casos imperceptibles por lo que convendría contar con trabajos técnicos, informes o publicaciones con trabajos previos, donde se hayan obtenido pendientes hidráulicas por nivelaciones geodésicas que son más precisas y que hayan sido contrastadas con observaciones GNSS-GPS.

Los cálculos de pendiente hidráulica realizados en el presente trabajo son una primera aproximación y no son concluyentes, debido a la falta de datos precisos; sin embargo, y dado que no es viable obtener estos datos a la brevedad, se acepta el cálculo como un cálculo preliminar valido.

Para los cálculos partimos del hecho de que las distancias entre las reglas son menores a los 12 Km, y en estas distancias la diferencia entre el arco y la cuerda, Tierra Esférica y plana, es menor a los 3 cm; por lo tanto, podemos considerar que el geoide y el elipsoide en la zona, son figuras paralelas y las diferencias de nivel entre geoide y elipsoide son constantes. Por este hecho, podemos utilizar la altura elipsoidal, obtenida con GNSS-GPS, para determinar la diferencia de nivel entre los puntos de control (TSGBM). Si somos capaces de reducir la distancia entre puntos (d< 2 km) podríamos realizar nivelaciones utilizando solo la altura elipsoidal (h) y en consecuencia obtener pendientes con mayor precisión.

Para trabajos futuros, para mejorar la data geodésica y la precisión de las pendientes hidráulicas, es conveniente realizar trabajos de nivelaciones geométricas y/o trigonométricas de precisión. Además, los puntos principales de nivelación deben ser observados con receptores GNSS-GPS y ser dotados con coordenadas absolutas latitud, longitud y altura elipsoidal, además de la diferencia de nivel (nivelación geométrica/trigonométrica). También sería deseable que en estos puntos principales de nivelación poder contar con datos de gravedad relativa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Hidráulica y Oceanografía (H&O Ingenieros) Perú, por facilitar los datos e informes para la publicación del artículo.

REFERENCIAS

Galván L., Infante C., Duro J., Orieta J., Llanos M. (2017). Integración de información altimétrica local y modelos geopotenciales en STRM DEM para Santiago del Estero. Simposio SIRGAS 2017, Mendoza Argentina.

Jigena B., Vidal J. and Berrocoso M. (2014). Determination of the Mean Sea Level at Deception and Livingston Islands. Antarctic Science 27(01), pp 101-102.

Jigena,Bismarck; Berrocoso, Manuel; Torrecillas, Cristina; Vidal, Juan; Barbero, Ignacio and Fernandez-Ros, Alberto. (2016). Determination of an experimental geoid at Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica. Antarctic Science, Vol 28(4), pp 277–292.

Jigena B., Mamani R., Muñoz-Perez J.J., Garvi D., Walliser M., Calderay F. & Berrocoso M. (2018). Methodology for hydrological information management in waterways: Application to Bolivia. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 9, núm. 4 (2018), pp 237-256.

Lemoine F. G., Kenyon S. C. , Factor J. K. , Trimmer R.G. , Pavlis N. K., Chinn D. S. , Cox C. M. , Klosko S. M. , Luthcke S. B. , Torrence M. H., Wang Y. M. , Williamson R. G. , Pavlis E. C. , Rapp R. H. & Olson T. R. 1998. The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96. NASA/TP-1998-206861, July 1998. Recuperado de: https://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Peru. (2005). Estudio de la navegabilidad del río Ucayali en el tramo comprendido entre Pucallpa y la confluencia con el río Marañon. Volumen VIII estudio de Hidraulica Fluvial. Informe Final elaborado por el Consorcio H&O-ECSA. Recuperado de: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/acuatico/documentos/estudios/Estudio%20de%20la%20Hidr%C3%A1ulica%20Fluvial%20del%20r%C3%ADo%20Ucayali%20-%20Informe%20Final.pdf.

MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Peru. (2008). Estudio de navegabilidad de los ríos marañon y Amazonas Ucayali. Tramo Saramiriza-Santa Rosa. Volumen III Estudio de Hidraulica, Hidrología y Navegación Fluvial. Informe Final elaborado por el Consorcio Hidrovía Amazonas. Recuperado de: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/acuatico/documentos/estudios/Hidraulica%20final.pdf.

OEA, Organización de Estados Americanos. (2010). Programa Centroamericano para la alerta temprana ante inundaciones en pequeñas cuencas (SPV) y reducción de la vulnerabilidad: Desarrollo de una Plataforma Nacional (edición especial). En: Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones (81 pp). Washington, DC, USA: Organización de Estados Americanos.

Pavlis N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C. & Factor J.K. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, First published: 19 April 2012 https://doi.org/10.1029/2011JB008916.

Rice, G., & Riley, J. (2011). Measuring the Water Level Datum Relative to the Ellipsoid During Hydrographic Survey. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/72054311.pdf.

Determinación preliminar de los peligros de origen marino, aplicando la metodología Rueda de Peligros Costeros en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia

Cabarcas, A. (1,2); Jigena, B. (2); Rey, W. (1); Vidal, J. (2)

(1) Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, Cartagena Colombia. acabarcasm@dimar.mil.co

(2) Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz, España .

Resumen: El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, es parte del territorio colombiano, por su ubicación geográfica está muy expuesto a los peligros causados por los sistemas hidrometereológicos que afectan principalmente a playas y zonas costeras. En este trabajo usaremos la metodología de la Rueda de Peligros Costeros (RPC), diseñada para facilitar la detección de peligros e identificación de puntos críticos en las zonas costeras, a partir de la clasificación de la costa con respecto a diferentes variables como la geomorfología, oleaje, régimen mareal, balance sedimentario, clima de tormentas, entre otros. Como resultado obtendremos una identificación de los peligros más significativos, teniendo en cuenta que el archipiélago y la isla de San Andrés están en una situación muy comprometida con respecto a la gestión de sus recursos. Este trabajo proveerá un análisis preliminar que podría ser usado como herramienta para la toma de decisiones en materia de gestión costera.

Palabras clave: clasificación costera, islas, geomorfología, mar Caribe, peligro, zona costera.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático global trae consigo impactos en las características físicas, biológicas y biogeoquímicas de las zonas costeras, modificando su estructura ecológica y funcional; es por esto que día tras día las zonas costeras han enfrentado diferentes peligros, vulnerabilidades y riesgos, radicando aquí la importancia del estudio de estos conceptos y su dinámica en el ámbito costero para poder así determinar políticas y opciones de manejo (Khan and Chatterjee, 2018).

Según el DANE (2018), Colombia es un país con una población aproximada de 48 millones de habitantes, donde costa Caribe habita el 20,6 % de la población nacional, en comparación con el interior de Colombia, estas zonas son las principales receptoras de las poblaciones desplazadas; por lo tanto, tienen la mayor tasa de crecimiento poblacional y niveles de vida más bajos respecto a la media nacional (INVEMAR, 2002). El rápido crecimiento demográfico, el desarrollo de muchas actividades económicas y los escasos procedimientos de ordenamiento territorial en las costas colombianas, han modificado la base natural y física de la zona costera a lo largo de la historia y ha generado una competencia por los bienes y servicios ofrecidos por esta (PNUMA, 1997; Alonso *et al.*, 2003). El Caribe es uno de los destinos turísticos mundiales más importantes; durante el 2012, recibió casi 25 millones de turistas, un 5,4 % más que en 2011, y en el 2013 en la costa Caribe colombiana aumentó en un 13 % aportando una contribución del Producto Nacional Bruto (PNB) de US 3 400 millones (ANATO, 2013), el Departamento de San Andrés, entre el año 2000 y 2016, la actividad turística tuvo una participación promedio de 22,4 % en el PIB departamental.

La Rueda de Peligros Costeros (RPC) constituye una clave para determinar las características de un litoral, su perfil de peligro y las posibles opciones de manejo, y el sistema puede usarse para la detección y manejo de peligros a nivel local, regional y nacional. El sistema está desarrollado para evaluar los principales peligros costeros en un solo proceso y cubre los peligros de alteración del ecosistema, inundación gradual, intrusión de la cuña de agua salina, erosión e inundaciones, además aborda una brecha en las metodologías actuales que demandan muchos datos de entrada; por lo que el sistema es adecuado en la gestión de amenazas costeras en países en vía de desarrollo donde la disponibilidad de datos es limitada (Rosendahl and Balstrøm, 2014, 2016; Rosendahl and Halsnæs, 2015). La metodología abarca tres grandes pasos: la clasificación de la costa, la identificación de los niveles de peligros y la identificación de las opciones de manejo. La clasificación de la costa se basa en los componentes bio-geofísicos que se consideran más importantes para las características de un entorno costero genérico. Los componentes incluidos son las características geomorfológicas, la exposición al oleaje, el rango de marea, presencia de flora / fauna, el balance sedimentario y el clima de tormenta, y cada entorno costero genérico tiene una combinación específica de estas variables (Rosendahl et al., 2016), ver Figura 1.

Los peligros incluidos en el sistema RPC se definen como inherentes de las propiedades bio-geofísicas

de un entorno costero cuando se exponen a los cambios pronosticados en el clima global en las próximas décadas (Intergubernamental Panel of Climate Change, 2013). Los niveles de peligro deben verse como la presencia de peligro en un entorno costero particular en las próximas décadas. Dado que este enfoque está rodeado de cierta incertidumbre, el grado del peligro simplemente distingue entre cuatro niveles de peligro diferentes, dependiendo de la presencia del peligro; peligro: 4 (presencia del peligro muy alta), 3 (presencia alta del peligro), 2 (presencia del peligro moderada), 1 (baja presencia del peligro (Rosendahl et al., 2016). Hay que tener en cuenta que los niveles de peligro del RPC se basan en una revisión de la literatura científica de las características de los entornos costeros del mundo y su susceptibilidad a los parámetros relacionados con el clima. Como la literatura aborda principalmente la susceptibilidad de los diferentes subsistemas costeros, la graduación de peligros se basa en un análisis cualitativo de cómo se aplican los diversos peligros a las categorías costeras definidas en el sistema de clasificación de RPC.

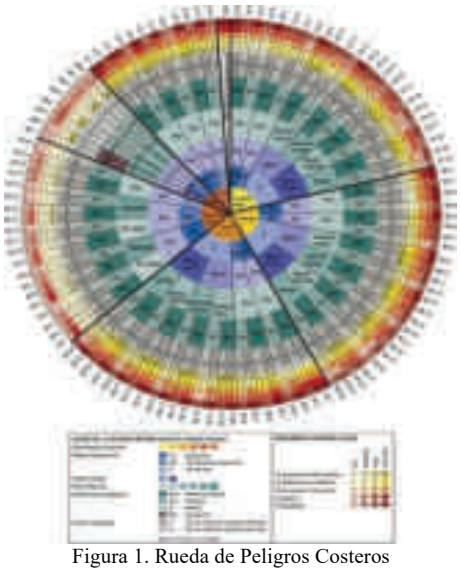


Figura 1. Rueda de Peligros Costeros

En este trabajo experimental vamos a determinar y caracterizar los peligros de origen marino teniendo en cuenta la clasificación de la costa contemplada en la metodología de la RPC, en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y obtener unos resultados provisionales los cuales puedan ser utilizados para trabajos posteriores.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de Estudio

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, está situado en la parte inferior del Alto de Nicaragua, en el mar Caribe Occidendal (Figura 1), y comprende dos islas oceánicas y una serie de atolones y bancos coralinos alineados en dirección NNE-SSW. Cuenta con un área aproximada de 180 000 km^2 de los cuales menos del 1 % son áreas emergidas y su inmensa mayoría son las aguas marinas colombianas ricas biológicamente e importantes por los servicios de provisión, regulación, soporte y culturales, que ofrece tanto al Archipiélago en particular, como a la extensión del Caribe colombiano y al Gran Caribe en general (Diaz *et al.*, 2000; López and Díaz, 2000). El archipiélago está localizado en la Zona de Convergencia Intertropical; el clima es cálido-húmedo y está influenciado por sus características fisiográficas como por la acción de los Vientos Alisios que soplan desde el noreste (Vargas, 2004).

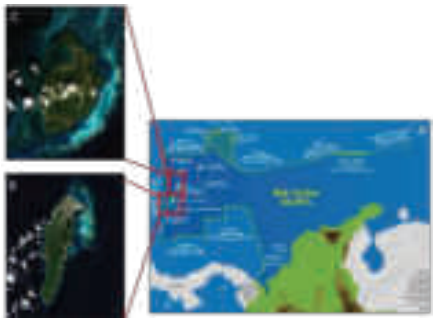


Figura 2 A. Localización de Colombia y de nuestra área de estudio en el país (CCO. 2017)–, B. Isla de San Andrés (Sentinel-2 L2A31/08/2019), C. Isla de Providencia y Santa Catalina (Sentinel-2 L1C 09/12/2018). Fuente: Land Viewer

Por su posición geográfica, el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, es el área del territorio colombiano más vulnerable por tormentas tropicales, donde el paso de estos eventos han dejado severas pérdidas en infraestructura y vidas humanas (Rey et al., 2019). Entre 1900 y 2010 han pasado 60 tormentas en el Caribe Colombiano, sin embargo, son pocos los que han tocado tierra (Bernal, Osorio and Urrego, 2016); siendo el evento del que se tiene registro recientemente es el huracán Beta que tocó tierra en el archipiélago en el mes de octubre (Collazos, Ospina and Vargas, 2007).

2.2. Datos y Equipos

Se cuenta con datos topográficos LIDAR con resolución espacial de 5 m, realizado por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) para esta zona en el año 2010, el cual está referido en la vertical al Mean Low Water Spring (MLWS) y mapas (formato ShapeFile) geomorfológicos del archipiélago a escala 1: 2 000. Así mismo se cuenta con batimetrías recientes, de alta resolución para el archipiélago en estudio. Para el procesamiento de los datos se usó el software ArcGis 10.5.

2.3. Metodología

La Rueda de Peligros Costeros contempla la clasificación de la costa según sus características geológicas, régimen de oleaje, mareas, cobertura de

flora y fauna, balance sedimentario y exposición a ciclones.

Para la caracterización geológica se utilizó un modelo de elevación a partir de datos LIDAR y mapas geomorfológicos La RPC distingue ocho categorías dependiendo al material del sedimento, si es roca, sedimentos blandos o una combinación de ambos, asimismo la clasificación dependerá de la pendiente de la costa; planicie sedimentaria, barrera, isla estuarina/delta, costa rocosa con pendiente, costa rocosa plana. La caracterización de régimen de oleaje se realizó a partir de reanálisis hechos por el CIOH (Dagua, 2013), donde a partir de un análisis estadístico se realizará el estudio del régimen medio y extremales. El sistema de clasificación costera distingue entre costas expuestas, moderadamente expuestas y protegidas. Estas categorías se basan en la altura de ola significativa (HS).

Para el estudio de mareas y niveles del mar se aplicó la metodología propuesta por Vidal et al. (2012) y Jigena et al. (2014, 2015). Los datos a utilizar están disponibles para la estación de San Andrés en http://www.iocsealevelmonitoring.org/station.php?c ode=sana. El sistema de clasificación opera con las tres categorías principales: micro-marea, meso-marea y macro-marea (Schwartz, 2005). La caracterización de la cobertura de flora y fauna se hizo a partir del tratamiento digital de imágenes utilizando el software ArcGis 10.5. El sistema de clasificación opera con nueve categorías diferentes: pantanos intermitentes; manglar intermitente; planicie de inundación; mangle; pantano / manglar; vegetado; sin vegetación; coral y cualquiera. La variación de la línea de costa para estimar erosión, acreción y/o estable, se realizó a partir de un análisis comparativo utilizando fotografías aéreas, imágenes satelitales disponibles entre 1979-2020.

En áreas con ciclones tropicales, las zonas costeras pueden experimentar condiciones extremas de viento, olas y precipitación que afectan significativamente la morfodinámica costera. El sistema de clasificación distingue entre ubicaciones con y sin actividad de ciclón tropical, sin considerar su frecuencia.

Al final se obtuvo un mapa de peligros costeros a través del uso de los sistemas de información geográfica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El presente trabajo aún está en ejecución, por lo que se sólo se mostrarán resultados preliminares, como el modelo digital de elevación obtenido a partir de los datos LIDAR.

De acuerdo con este levantamiento realizado la altura topográfica máxima para San Andrés es de 91 m. Teniendo en cuenta los datos de alta resolución colectados por CIOH, que se encuentran referidos al *MLWS*, muestran para esta isla una plataforma archipelágica hacia el Norte y Noreste que va más allá de la barrera arrecifal (Figura 3a), esta barrera de barlovento protege las lagunas norte y este del mar de fondo. A lo largo de la costa sureste, la barrera se acerca a la costa y se convierte en un arrecife de borde. protegiendo el área de los fenómenos oceanográficos (Garzón-Ferreira and Diaz, 2003).

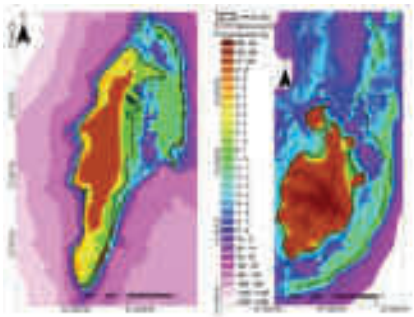


Figura 3. a) Levantamiento de topo-batimetría (referido al MLWS) para las islas de San Andrés. b) Providencia y Santa Catalina.

La laguna arrecifal es somera, con profundidades máximas de 7 m. La franja costera para esta zona es topográficamente baja, con alturas máximas de 3 m, siendo áreas susceptibles a inundación por lluvias o de origen marino (Rey *et al.*, 2019). Hacia el norte de la isla, se encuentran asentamientos humanos, puertos y es donde se desarrolla la principal actividad turística. En las áreas Oeste, Sur y Sureste de la isla, la topografía es baja (alturas menores a 3 m) y cuenta con una plataforma archipelágica situando grandes profundidades a corta distancia de la costa, haciendo al área menos expuesta a la inundación (Rey *et al.*, 2019). Al Noreste de la isla de Providencia (Figura 3b), la franja costera presenta alturas topográficas menores a 5m; en esta zona se encuentra el aeropuerto, y al Noroeste se encuentran los asentamientos humanos. Al Sureste y Suroeste de Providencia las alturas son mayores a los 7 m. La laguna arrecifal tiene profundidades superiores a 10 m en el Noroeste y Suroeste e inferiores a 8 m al Este. La barrera de arrecifes de barlovento de Providencia, de 32 km de longitud, es una de las más grandes del hemisferio occidental. Tres segmentos principales de la barrera son discontinuos (Figura 3b) y están formados por una amplia banda de arrecifes de parche densamente agrupados (Garzón-ferreira and Diaz, 2003). La isla de Santa Catalina tiene una altura máxima de 150 m, se separa de Providencia por un canal de 150 m de ancho y profundidades máximas menores a 3 m.

4. CONCLUSIONES

Se presenta una descripción de la geología del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, lo cual es insumo para la ejecución de la primera fase de la metodología de la Rueda de

Peligros Costeros. Dado que la parte Noreste de la isla de San Andrés cuenta con una plataforma archipelágica amplia y somera, la energía del oleaje es disipada pero la marea de tormenta es amplificada, lo puesto ocurre en el parte Sureste de la isla debido a que se tienen grandes profundidades cercanas a la costa. Las alturas topográficas más bajas en Providencia se tienen en la parte Noreste, lo cual le hace susceptible a la inundación de origen marino Las demás fases están en desarrollo, por lo que aún no se muestran resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, D. et al. (2003) Conceptos y Guía Metodológica para el Manejo Integrado de Zonas Costeras en Colombia, manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. 12th edn.

ANATO, (Asociación Colombiana de Agencias de Viajes y Turismo) (2013) Compendiocde estadísticas turísticas de ANATO 2013.

Bernal, G., Osorio, A. and Urrego, L. (2016) Occurrence of energetic extreme oceanic events in the Colombian Caribbean coasts and some approaches to assess their impact on ecosystems', J. Mar Syst, 164, pp. 85–100. doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.08.007.

Collazos, G., Ospina, H. and Vargas, A. (2007) 'Estudio descriptivo de la influencia del huracán Beta en las islas de Providencia y Santa Catalina', Boletín Científico CIOH, 70, pp. 61–70.

DANE (2018) Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Available at: https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/cua_som (Accessed: 9 June 2020).

Diaz, J. M. et al. (2000) Áreas Coralinas de Colombia.

Garzón-Ferreira, J. and Diaz, J. M. (2003) 'The Caribbean coral reefs of Colombia', in Latin American. Coral Reef, pp. 275–301. doi: 10.1016/B978-0-444-51388-5.50013-8

Intergubernamental Panel of Climate Change (2013) Climate change 2013: the physical science basis. Contribution ofWorking Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., Summary for policymakers. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds). Cambridge, UK.

INVEMAR (2002) 'Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2001'. Santa Marta.

Jigena B., Vidal J. and Berrocoso M. 2014. Determination of the Mean Sea Level at Deception and Livingston Islands. Antarctic Science 27(01), pp 101-102.

Jigena B., Vidal J. and Berrocoso M. 2015. Determination of the tide constituents at Livingston and Deception Islands (South Shetland Islands, Antarctica), using annual time series. DYNA 82 (191), pp. 209-218. DOI: 10.15446/dyna.v82n191.45207.

Khan, A. and Chatterjee, S. (2018) Coastal Risk Assessment. SpringerBriefs in Oceanography.

López, V. and Díaz, J. (2000) 'Morfología y estructura de las formaciones coralinas del Archipiélago de San Bernardo, Caribe Colombiano', Revista Académica Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales, 24(9), pp. 219–230. PNUMA (1997) 'Directrices para una planificación y un manejo integrado de las áreas costeras y marinas en la Región del Gran Caribe'. Programa ambiental del Caribe del PNUMA, p. 136.

Rey, W. et al. (2019) 'Evaluación de áreas susceptibles a la inundación por marea de tormenta generada por ciclones tropicales en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia', Bol. Cient. CIOH, In Press.

Rosendahl, L. and Balstrøm, T. (2014) 'Application of the Coastal Hazard Wheel methodology for coastal multi-hazard assessment and management in the state of Djibouti', Climate Risk Management. Elsevier B.V., 3, pp. 79–95. doi: 10.1016/j.crm.2014.06.002.

Rosendahl, L. and Balstrøm, T. (2016) Managing Climate Change Hazards in Coastal Areas - Main Manual.

Rosendahl, L. and Halsnæs, K. (2015) 'The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate', Journal of Coastal Conservation, 19(2), pp. 157–179. doi: 10.1007/s11852-015-0379-7.

Schwartz, M. (2005) 'Encyclopaedia of coastal science'. Springer.

Vargas, G. (2004) 'Geología y Aspectos Geográficos de la Isla de San Andrés, Colombia', Geología Colombiana, 29(0), pp. 73–89.

Vidal, J., Berrocoso, M. and Fernánde-Ros, A. (2012) 'Study of tides and sea levels at Deception and Livingston islands, Antarctica.', Antarctic Science, 24(2), pp. 193–201. doi: 10.1017/S095410201100068X.

Modelação da evolução da linha de costa no litoral arenoso do arco Caparica-Espichel

Sancho, F. (1)

(1) Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Av. Do Brasil, 101, Lisboa. fsancho@lnec.pt

Resumo: Sancho *et al*. (2019) obtiveram resultados do transporte longilitoral ao longo do arco Caparica-Cabo Espichel, a partir da retro-simulação de 65 anos de agitação marítima (Sancho *et al*., 2018). O presente artigo dá continuidade a estes trabalhos implementando-se o modelo de simulação da evolução da linha de costa LITMOD, para o período compreendido entre 1979 e 2004. Descrevem-se os dados e as metodologias de análise e das simulações. Discutem-se os resultados, estimados e modelados de taxas de evolução da linha de costa, volumes transportados e fluxos de transporte sedimentar. Obteve-se uma calibração satisfatória do modelo (simulação de 1979 a 2004), com melhorias na simulação de validação (de 2004 a 2018). Conclui-se ainda que existe um ponto de inversão da direção do transporte longitudinal médio, localizado entre a Praia da Saúde e a Praia da Rainha.

Palavras-chave: Caparica, erosão costeira, modelação da linha de costa, modelo 1-linha, transporte longilitoral.

1. INTRODUÇÃO

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) solicitou ao LNEC a realização de estudos sobre a morfodinâmica das praias da Costa da Caparica que suportem e otimizem a tomada de decisão futura sobre intervenções na zona. O presente trabalho resume o estudo de modelação da evolução da linha de costa efetuado para a APA, onde se procedeu ao estabelecimento do modelo LITMOD no arco litoral arenoso entre a Cova do Vapor e a Praia das Bicas.

Apresenta-se uma caracterização geral da zona de estudo, com ênfase na evolução da linha de costa na segunda metade do século XX. Descrevem-se os dados e as metodologias de análise daqueles e das simulações. Obtêm-se e discutem-se os resultados, estimados e modelados naquele período temporal, de taxas de evolução da linha de costa, volumes transportados, e fluxos de transporte sedimentar ao longo do arco litoral e nas suas extremidades.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

O conhecimento das causas do episódio de erosão generalizada das praias da Costa da Caparica após o segundo quartel do século XX é ainda insuficiente. Os dados analisados em Sancho (2020) evidenciam uma relativa estabilidade das praias após a construção dos esporões de contenção nas décadas de 1960 e 1970, que durou até final da década de 1980. Após 1989, com maior relevo após 1995, retomou-se o processo de erosão costeira na Praia de São João da Caparica, também por razões incertas.

Neste trabalho, reuniram-se vários elementos topo-hidrográficos e fotográficos de 1979 a 2018 (Sancho, 2020). Identificaram-se, recorrendo ao software QGIS, nos vários conjuntos de fotografias aéreas e ortofotomapas as "linhas de água", sendo esta definida como a linha de separação da água com a praia, sem o efeito do espraio. A marcação daquela linha foi efetuada subjetivamente sempre pelo mesmo operador, seguindo o mesmo critério. Posteriormente à digitalização das linhas de costa, procedeu-se à sua correção para a cota +2 m (ZH). A título exemplificativo, apresenta-se na Figura 1 a evolução no trecho da Praia de São João da Caparica, que foi o troço com maiores variações.



Fig. 1. Evolução da posição da linha de água na Praia de São João da Caparica (imagem de fundo: ortofoto de 2014)

Em todo o trecho arenoso, verificou-se não ter ocorrido nenhuma alteração significativa da orientação média da linha de costa entre 1979 e 2004 (cujos rumos foram, respetivamente, 161,2° e 160,8°).

A partir das linhas de água determinaram-se as diferenças sequenciais entre as mesmas (Figura 2). Observa-se que entre 1979 e 1989 ocorreu um ganho generalizado da praia, com avanço da linha de água entre 20 a 100 m nos setores sul (à esquerda) e norte (à direita), e alternância entre avanço e recuo no setor

central (8000<x<15000 m). Entre 1989 e 1995, a variação da linha de água foi muito menor, com avanços ou recuos máximos de 50 m, destacando-se uma zona de erosão no extremo norte, antecedida imediatamente a sul por zona de acreção. No global, nesse período ocorreu ainda um ganho generalizado da praia, embora com muito menor expressão que o do período anterior. Finalmente, entre 1995 e 2004 verificou-se uma redução generalizada e acentuada do areal, com elevada expressão no setor norte (com recuos até quase 200 m) e média expressão (até 50 m) no setor sul; no troço intermédio (9000<x<17000 m), mais uma vez, ocorreu alternância entre avanço e recuo da linha de água.

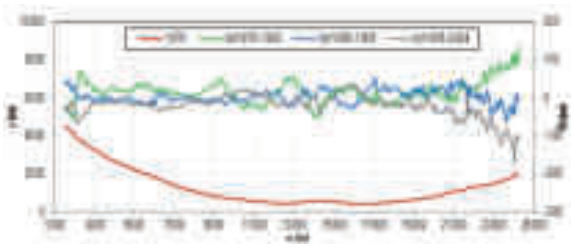


Fig. 2. Diferenças de posição entre linhas de água sucessivas (Dy) e linha de água em 1979 referida à linha base (y), entre a praia das Bicas (x=1500 m) e o esporão EV1 (x=24500 m)

No seu todo e no período entre 1979 e 2004, o trecho arenoso do arco litoral Caparica-Espichel pode considerar-se muito estável, estimando-se a partir das evoluções da linha de costa que até possa ter tido uma acumulação da ordem de meio milhão de metros cúbicos Sancho (2020). No entanto, ocorreu significativa erosão em todo o trecho intervencionado das praias da Costa da Caparica e São João (Fig. 2, abcissa x>20000 m). Mais precisamente, nos 3 km a sul do esporão EV1 o recuo médio neste período de 25 anos somou -21 m, com valores máximos no limite norte da praia de São João da ordem de -100 m.

As perdas e ganhos volumétricos sedimentares médios permitem concluir que, nesta célula litoral, a norte poderá ocorrer entrada ou saída de sedimentos, a sul poderá ocorrer saída de sedimentos, na fronteira marítima poderão ocorrer entradas ou saídas do sistema por correntes não associadas à agitação marítima e na fronteira terrestre existe fornecimento de sedimentos por erosão de arribas e drenagem de bacias de pequena dimensão com valores da ordem de 10^4 m^3/ano.

A agitação marítima ao longo do arco litoral Cova do Vapor – Cabo Espichel foi estimada recorrendo ao modelo SWAN, para propagar as condições de agitação marítima do largo para a costa (Sancho *et al.*, 2018).

Analisou-se a estacionaridade ou invariabilidade do clima de agitação entre 1979 e 2004, em períodos da ordem de 5 a 10 anos. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 3 os histogramas da altura de onda significativa (Hs) e direção média (Dir), em frente à Praia de S. João da Caparica, para 3 períodos temporais: 1979-1989, 1989-1995, 1995-2004. Observa-se uma elevada semelhança dos diferentes histogramas, podendo concluir-se não ter havido variabilidade assinalável de Hs e Dir.

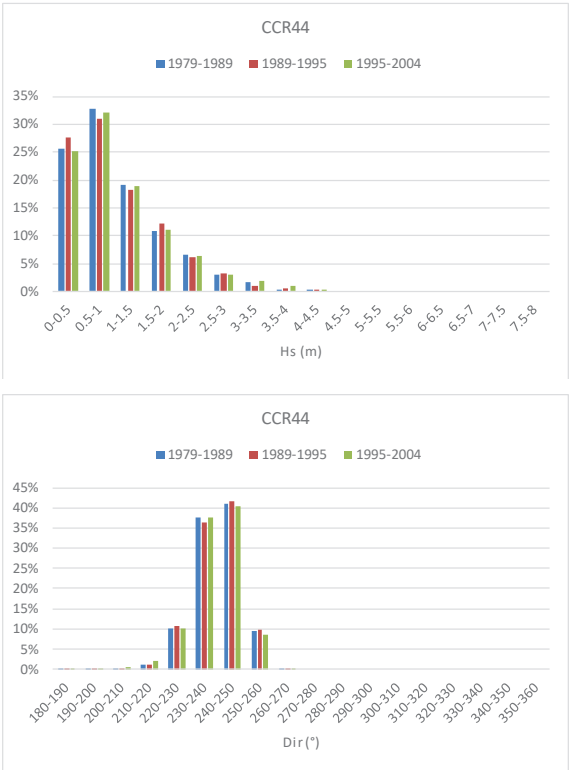


Fig. 3. Histogramas de Hs e de Dir, em frente à Praia de São João da Caparica (ponto 44, Fig. 4)

3. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA

Neste trabalho utilizou-se o modelo de evolução de linhas de costa, LITMOD, desenvolvido no LNEC e anteriormente aplicado a um apreciável número de estudos (p. ex., Vicente e Clímaco, 2003). Trata-se de um modelo numérico unidimensional em que a evolução da costa é representada pelas variações de posição da linha de água. O seu funcionamento baseia-se no cálculo do transporte litoral, efetuado a partir das características das ondas na rebentação, e na aplicação da equação da continuidade aos volumes de areia movimentados.

A primeira fase da aplicação do modelo LITMOD consistiu em adequá-lo às condições particulares do caso presente. Face à existência de dados fotográficos e hidrográficos de 1979, optou-se por se iniciar a simulação da evolução da linha de costa neste ano. Para termo das simulações de análise e calibração considera-se o ano de 2004, anterior ao início das obras de reconfiguração e reforço dos esporões. Procedeu-se assim ao estabelecimento e calibração do modelo no arco litoral arenoso entre a Cova do Vapor e a Praia das Bicas, para o período compreendido entre 1979 e 2004. Na fase de calibração do modelo, utilizam-se adicionalmente as linhas de água obtidas em 1989 e 1995.

De acordo com os dados da granulometria, admitiu-se um valor do diâmetro mediano (D50) constante e uniforme ao longo de todo o trecho, e igual a 0,32 mm. Contudo, aplicou-se posteriormente, e por zonas, uma correção nos coeficientes de calibração da fórmula do transporte longilitoral (Kamphuis, 1991) de forma a traduzir aproximadamente o efeito da variação do D50 na capacidade de transporte.

Relativamente ao perfil de praia, utilizou-se o "perfil teórico de equilíbrio de Dean", que se verificou ajustar-se bem a vários perfis extraídos do levantamento topo-hidrográfico de 1980. A expressão de cálculo é $h = Ay^{2/3}$, com $A = 0{,}21\ D_{50}^{0.48}$; em que h é a profundidade e y é a distância horizontal à origem (na linha de água). Deste ajuste, obtiveram-se valores de 0,115<A<0,150 $m^{1/3}$, equivalentes a considerar-se 0,28<D50<0,50 mm, compatível com os dados sedimentológicos existentes.

Os dados de levantamentos batimétricos analisados em Freire *et al*. (2019) indicam que, em frente às praias urbanas da Costa da Caparica e de São João, existem poucas movimentações de fundo abaixo da cota -10 m (ZH). Cálculos realizados em Sancho (2020) permitiram determinar o valor aproximado da profundidade de fecho igual a 12 m (NMM).

Para a implementação do modelo, foi definida uma linha de referência (ou linha base), orientada a N-20°-W e com origem próxima do limite sul da Praia das Bicas (Figura 4), de modo a cobrir todo o litoral arenoso, com cerca de 24 km de extensão. A agitação marítima foi definida ao longo de 29 localizações (entre as posições 9 a 45, identificadas na Figura 4), com profundidades próximas de 12 m (ZH).

A calibração do modelo LITMOD foi conseguida através da rotação da direção de onda incidente, de um valor constante em toda a série de dados em determinado local de aproximação, relativamente aos valores determinados originalmente pelo modelo de propagação de ondas.

4. RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO

Os resultados da simulação de calibração mostraram ocorrer um bom ajuste global da linha de costa simulada com a observada, exceto no extremo sul do trecho, com desvios significativos (Figura 5). Na Praia de S. João o desajuste foi elevado (da ordem de 30 m) e nas praias confinadas entre a Nova Praia e a Praia do Norte o ajuste foi muito bom (da ordem de 6 m). Nos trechos a sul da Lagoa de Albufeira o modelo prevê maior erosão que a ocorrida, talvez por calcular excessiva perda de sedimentos pela fronteira sul.

Estimou-se, na fronteira sul, um saldo médio do fluxo sedimentar dirigido para sul de aproximadamente 160x10^3 m^3/ano. Na fronteira norte, o fluxo é negativo (dirigido para norte), no valor de -50x10^3 m^3/ano. O balanço deste saldo traduz-se numa perda global de 210x10^3 m^3/ano, que contrasta com o ganho médio medido (através dos dados de linha de costa) de 17x10^3 m^3/ano. Apesar desta discrepância, os valores dos caudais médios simulados são plausíveis face ao conhecimento atual da dinâmica sedimentar neste litoral.



Fig. 4. Linha de referência (a amarelo) de estabelecimento do modelo, com indicação da linha de costa de 1979 (a verde) e das localizações dos pontos de agitação marítima (a vermelho)

Posteriormente à calibração do modelo, procedeu-se à sua validação para o período temporal entre 2004 e 2018. Algumas discrepâncias encontradas levaram à recalibração do mesmo, passando a obter-se resultados de evolução da linha de costa muito satisfatórios em todo o trecho das praias da Costa da Caparica e a norte. Nesta simulação resultou um caudal médio no limite sul do modelo (Praia das Bicas) igual a 200x10^3 m^3/ano, dirigido para sul, e no extremo norte o valor de -116x10^3 m^3/ano, dirigido para norte. Pese embora o valor do caudal médio a norte seja superior ao obtido no período de calibração, o novo valor está dentro do intervalo de variação do caudal médio anual estimado a partir dos dados.

Estimou-se que nas praias da Costa da Caparica e de São João a taxa de transporte longilitoral média é dirigida para norte (negativa), embora, devido ao pequeno saldo negativo, ocorram períodos em que a direção do transporte é contrária. Conclui-se ainda que existe um ponto de inversão da direção do transporte longilitoral médio localizado entre a Praia da Saúde e a Praia da Rainha. Nesse trecho, contudo, em alguns anos, as direções médias do transporte longitudinal podem ser todas dirigidas para norte ou para sul, com magnitudes inferiores a ±200x10^3 m^3/ano.

5. CONCLUSÕES

Na análise de dados aqui efetuada, complementar às elaboradas por outros autores (p. ex., Silveira *et al*., 2013, Freire *et al*., 2019), conclui-se que o

morfodinamismo das praias da Costa da Caparica é extremamente complexo e difícil de caracterizar integralmente.

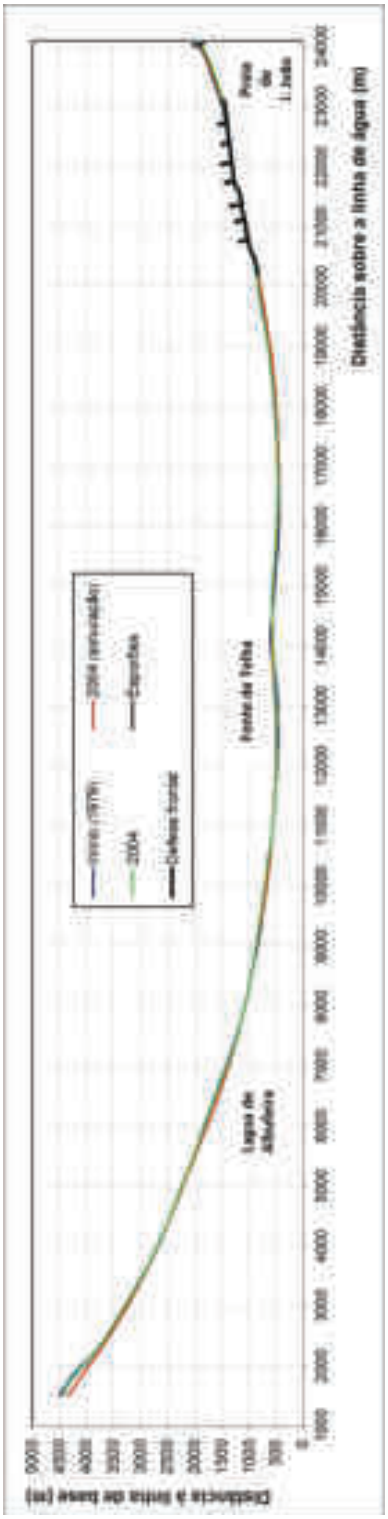


Fig. 5. Evolução da linha de costa entre 1979 e 2004 após calibração

Os dados tratados evidenciam uma relativa estabilidade das praias após a construção dos esporões de contenção nas décadas de 1960 e 1970, que durou até final da década de 1980. Após 1989, com maior relevo após 1995, retomou-se o processo de erosão costeira na Praia de São João da Caparica. No entanto, no seu todo e no período de 25 anos entre 1979 e 2004 o trecho arenoso do arco litoral Caparica-Espichel pode considerar-se muito estável.

Em síntese, considera-se que face aos erros associados à manipulação de dados (da linha de costa e da agitação marítima) e às simplificações da modelação, a evolução da linha de costa em todo o arco litoral foi eficazmente simulada após a calibração e validação efetuadas. O modelo, com os parâmetros resultantes da simulação de validação, considera-se assim apto a ser utilizado como ferramenta de apoio à gestão de intervenções costeiras neste troço.

Agradecimentos

O autor agradece à Agência Portuguesa do Ambiente a autorização para publicar este estudo e à Direção Geral do Território a informação fornecida sobre fotografias aéreas e ortofotomapas utilizados neste trabalho. Neste trabalho colaborou o Técnico Superior Víctor Pisco.

REFERÊNCIAS

Freire, P., Fortunato, A., Oliveira, F.S.B.F. (2019). Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada. Estudo IV – Avaliação do comportamento e longevidade das alimentações artificiais. Efeito do forçamento. Relatório 223/2019 – DHA/NEC.

Kamphuis, J.W. (1991). Alongshore Sediment Transport Rate. Journal of Waterways Coastal Ports and Ocean Engineering, 117: 624-640, ASCE.

Sancho, F., Banha, M.J., Neves, M.G. (2018). Variabilidade espacial e sazonal da agitação marítima na proximidade da zona de rebentação no arco litoral Caparica-Espichel. 5as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 19 a 21 de junho de 2018, pp. 186-189.

Sancho, F., Banha, M.J., Neves, M.G. (2019). Transporte longilitoral no arco Caparica-Espichel. IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas dos Países de Expressão Portuguesa, Instituto Superior Técnico, 14 a 16 de maio.

Sancho, F. (2020). Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada: Estudo II – Modelação da evolução morfológica para diferentes cenários de intervenção. Aplicação do modelo. Relatório 111/2020 – DHA/NEC.

Silveira, T.M., Sousa, H., Carapuço, A.M., Diogo, Z.S., Silva, A.N., Taborda, R., Andrade, C. (2013). Estudo de caso da Costa da Caparica; Caracterização das evoluções morfológicas e volumétricas da praia de S. João da Caparica – Entregável 2.3.b. FCUL, Junho 2013, 24pp.

Vicente, C., Clímaco, M. (2003). Evolução de Linhas de Costa. Desenvolvimento e Aplicação de Um Modelo Numérico. ICT-ITH 42. LNEC, Lisboa.

Searching for structures in the Water Column

Marques, C. (1); Carvalho, P. (1); Silva, R. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, videira.marques@hidrografico.pt

Abstract: It is for a long time now, that Multibeam echosounder systems (MBES), give us high resolution bathymetric data, at such a high rate that allows the complete coverage of a large swath area per survey line. This data is georeferenced, and it is over 10 years already that MBES are capable of measuring the scattering in the water column (WCL) of this swath area. A fan like coverage that has an immense potential for applications in oceanography, geology, hydrography and many other areas of knowledge. Considering the accurate positioning of all this data, it is imperative that one can identify and locate structures not only on the seafloor, but also on the WCL. Following a simple approach for mid water target detection, an algorithm capable of identifying structures in the WCL is created, allowing the search for mammals, fish schools, gas plumes, or even more complex structures like wrecks.

Key words: multibeam, structures detection, watercolumn.

1. INTRODUCTION

With the Portuguese Hydrographic Institute being not only military, but also a state laboratory, its concerns expand from natural sciences to military investigation. A wide experience and quality in the acquired hydrographic data allowed further investigations that merged natural and military sciences. The need for data classification, target identification and tracking pushed the interest on multibeam water column detection towards the design of an algorithm that could fully understand the acquired data and perform a search on the concealed features that lay beneath the sea surface, but above the seafloor. Once nearly unreachable information through remote detection, seems now to be much closer to be recorded and analyzed automatically.

Scientific awareness has shown us this mid water features are not only biological treasures (McGonigle C. et al, 2011) but may also represent a significant discovery for oceanography (Clift, R. et al., 2014), geology (Hughes Clarke, J.E et al, 2014) and hydrography itself (Hughes Clarke, 2006, Liu Zhibo. 2013). Multibeam has evolved through the last 20 years (Hughes Clarke J.E., 2006). Today's echosounders are the gold standard for hydrography and a must-have equipment in many other research areas. It is not a secret that objects can be seen in the water column (Marques C.R., et al, 2012), as water column imaging data started to be used mostly for fisheries and biology (Melvin G D & Cochrane N A., 2015) but soon evolved as a new research mean for noise identification (Hughes Clarke, 2006) gas plumes detection (Weber, T. C. et al 2012) and wreck detection (Van der Werf, 2010). So, although this is still a technology and research field that is expected to greatly improve in the future, present data already shows many features of interest. Tracking and identifying specific features is the goal we are aiming for.

The innovation of imaging the mid water area using acoustics lies somewhere in the past century. The use of sonars that can discriminate angle added to distance is a rather old story already. Starting from down looking fishing sonars with beam widths over 10º (SM600, SR240), later used for science. Sonars focused on safety with a wider transmit beam (over 20º), looking forward but using narrow beam width 1.5º for target identification, were commonly used. Later, using this technology, new developments were introduced, and unsuspected areas found their way into the water column imaging research, biology, oceanography and military (Gallaudet and deMoustier, 2003). During the latest years, research in mid water imaging using multibeam acoustics has increased throughout the world, not only in the above research areas but also reaching geology (Hughes Clarke, J.E. et al, 2012), oil and gas prospection, search and rescue and police affairs.

Hydrographic multibeam acoustic systems appeared somewhere around the end of last century and have evolved to a point where 0.5º beam width systems pinging over 1000 beams at 50 Hz, are a common place. These systems can then image the water column slicing each beam at sub centimeter level.

This work focuses on hydrographic multibeam systems and, for better understanding their water column imaging, one can say that multibeam is a fan span system, with beams starting from a single point, the sonar, and spreading into a fan shape throughout the water. The observable water column area is then a triangle with the upper vertex on the sonar as shown in Fig. 1.Due to noise and acoustic adversities some areas are harder to resolve and most research is focused on the mid-range water volume, just after the minimum working range and the minimum range detection. The acoustic data that is acquired by multibeam systems is the measured value (dB) of the backscattered sound at each place in the water column area (at m, cm or mm level, depending on the system)

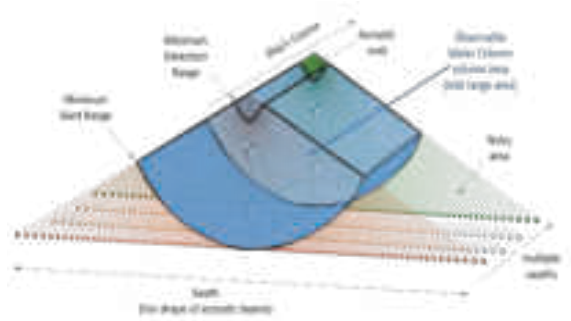


Figure 1 - 3D Water column volume area (multiple wcl swaths)

2. DATA ACQUISITION

Considering the objective of detecting specific objects, all available water column data was considered. The Portuguese Hydrographic Institute counts several multibeam surveys each year, in harbour, coastal or ocean areas, as well as specific surveys for feature and object investigation. Data ranges from S-44 order 2 to special order, with most water column bathymetric data being classified as special order and order 1A.
All available surveys data is analyzed and, when important features appear, the water column is inspected. For structure detection, some specific shipwreck sites were used: Ocean Revival in Portimão, Ville de Victoria in Lisbon (Fig. 2). Also, some specific test sites were mounted at different depths in Lisboa and Vila Real Santo António.

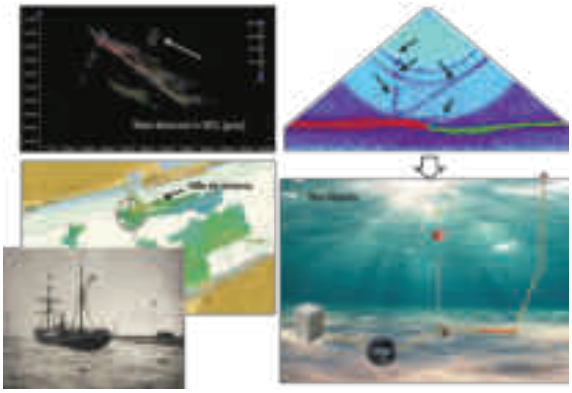


Figure 2 - Test Objects and Shipwreck detected in the WCL

3. DATA ANALYSIS

Water column data consists of a high-density point cloud, which can reach around 4.000.000 points for each meter of depth (shallow water systems) in a single acoustic ping. With the multibeam systems capable of pinging at 50 Hz, doing a criterions manual inspection of the water column is tedious and time consuming task. Having this in mind, and for the purpose of analyzing the water column data, a detection algorithm is used. Each possible detection (a slice of water column within each beam) is positioned in a 3D georeferenced location.

This algorithm starts by autonomously creating a noise reduction filter, which allows the data to be excluded of most environmental noise. Then it goes through each point in the water column and, considering multibeam system's beam pattern, compares this point's with all the near by points within a calculated radius, beam pattern dependent (Fig. 3). This allows excluding acoustic distortion generated noise. In the end all water column valid data is positioned in the referenced datum. This complex and exhausting procedure supports the future search and identification of specific targets.

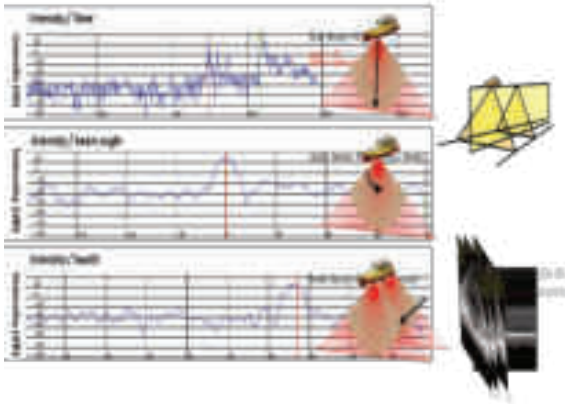


Figure 3 - WCL detection, comparing all WCL swaths/beams/slices

4. METHODOLOGY

Searching objects in the water column is not an unusual idea. However, identifying specific complex structures is a more unique and demanding task. Having the georeferencing solved, and most noise excluded, one can assume the remaining valid detections to be true features in the water, with the puzzle of distinguishing them being now the hard task and, identifying specific shapes the main target. The used method does not try to distinguish features, it simply follows the shape of a specific defined structure that is provided to the algorithm to be searched for. Once the shape is defined the algorithm compares it with each group of detections, and flags each matching event.

The main idea is to define a shape and then have the algorithm match it with the previously validated water column data. Structure shapes are defined using interconnected points, creating a downgraded resolution configuration of the structure being searched for. The user defines the number of points needed to define the structure. The structure is then defined by the distance, angle to the vertical, and direction to the bow. This level of freedom gives the user the opportunity to be more or less strict when designing the structure.
To allow complex flexible structures, the algorithm allows each point to move in relation to the next one, within a fixed range of angle, direction, and distance.

Again, some allowance is given, not only to deal with structures that may bend, or move, but also to consider different size structures. Considering the data being used, this feature may also be adopted to take into account possible acoustic deformities.
Eventually, the structures being searched may be hooked to the seafloor, thus the algorithm admits that one point (reference point) may be within a fixed range of angle, direction and/or distance to an assumed flat seafloor. Parts of shipwrecks, moored equipment, specific depth features can also be looked for with this component.
Finally, an orientation freedom is allowed for the shape, saying an angle that the edge, consisting of the reference point (first point) and 2nd point, may have to the vertical and to the bow direction. At this point the algorithm may look for structures that roll either way.
For better understanding, a depiction of this idea is shown in FIGURE 4 with the theoretical shape definition. Using this plain concept, an example of a solid cube and a moored acoustic fluctuating hydrophone are illustrated on FIGURE 5.

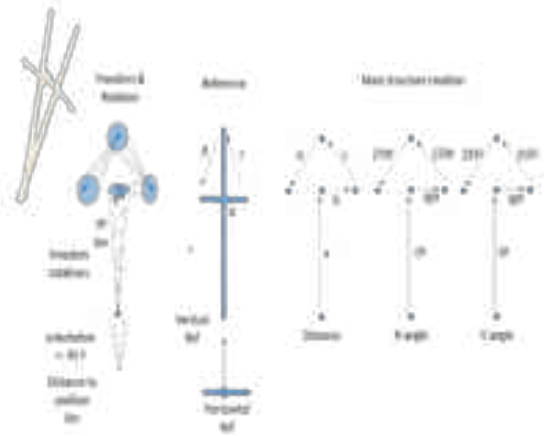


Figure 4 - Defining a mast structure (example)

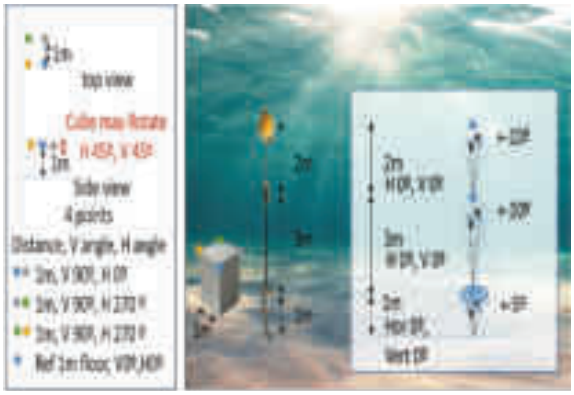


Figure 5 - Cube and Mooring examples

Once the shape is defined, the algorithm searches for this flexible nearly fixed shape throughout all the valid water column data of each survey line.
With the data being a point cloud, and the structure being a point stretching rolling shape (a restricted moldable shape) the algorithm is focused on one single point of the shape at a time, and for each water column valid detection starts comparing the shaped structure with the nearby valid detections. It starts by the 1st point, and matches the distance to the seafloor, if it was defined, considering any possible movement range defined for this point with relation to the seafloor.
Next, for each possible 1st point of the structure, the algorithm tries to find the 2nd point in the defined distance at the established vertical and horizontal angle. As a range of movement may be given to the 2nd point, it marks as a possible structure every valid detection that lays inside the freedom range of movement.
Considering the 1st and 2nd point edge may be rotated, it repeats the search within the rotation range, and for each possible structure found, it marks the observed rotation of the edge.
At this point the algorithm has found the first edge of each possible structure and has marked the rotation it has observed (not excluding the movement freedom of the 2nd point). It is now fixed at the 2nd point and focused on the 3rd point. From now on, the procedure is very straight forward, as the algorithm goes point by point searching for the next one at the defined distance and vertical and horizontal angles, always considering the movement freedom for each point and the orientation of the structure.
FIGURES 6 and 7 illustrate the 1st and 2nd point search, FIGURE 7 illustrates the next points match.
Finally, a structure is marked as found if the total number of points is reached. For testing purposes, a skip point factor N was introduced, allowing structures to miss the last N points, and still be classified as structures.

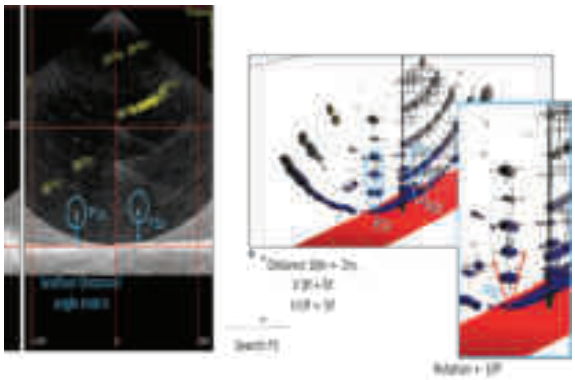


Figure 6 - Search P1 (start structure)

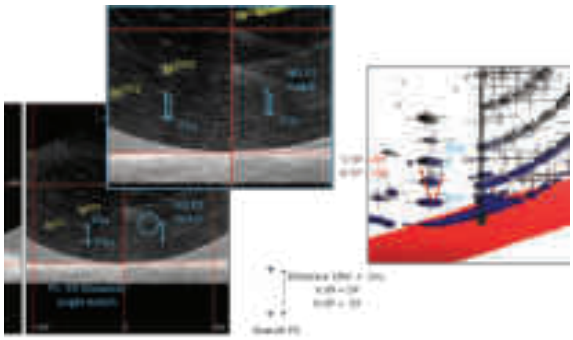


Figure 7 - Search P2

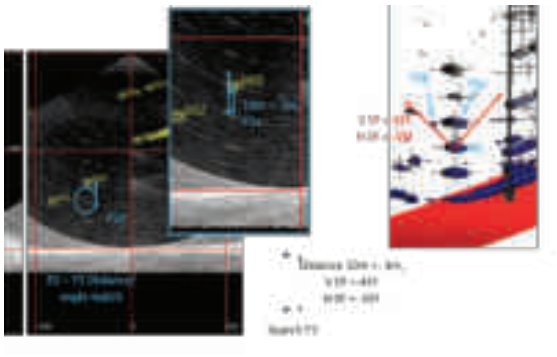


Figure 8 - Search next points

5. Conclusions

The algorithm has been tested with some specific structures, presenting encouraging results. Straight ship masts or a still bar on a complex sunk wreck are some examples. It was also used for identifying lost moored equipment and tested on gas plumes (FIGURE 9)

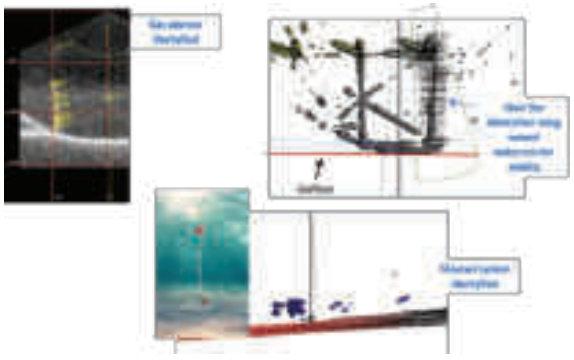


Figure 9 - Results Examples

Most structures are found, although it requires some care when defining the structure for the algorithm.
For possibly rotated structures, the reference edge should be long and well defined, with the minimum movement freedom possible, as it will be the reference for the orientation. This will minimize computation time substantially.
It is an algorithm that still needs a powerful processor, but future work will be done to for a real-time automated tool.

6. References

Clift, R., J. R. Grace, M. E. Weber. (1978). Bubbles, drops, and particles. Academic Press. Colbo, K., T. Ross, C. Brown, and T. Weber. 2014. A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. Estuar. Coast. Shelf

Gallaudet, T., de Moustiera, C., (2003). "High-frequency volume and boundary acoustic backscatter fluctuations in shallow water", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 114, No. 2, August 2003. pp. 707-725.

Hughes Clarke J.E, (2006). Applications of multibeam water column imaging for hydrographic survey. Hydrogr. J. 120: 3–15.

Hughes Clarke, J.E., Marques, C.R., Pratomo, D, (2014), Imaging Active Mass-Wasting and Sediment Flows on a Fjord Delta, Squamish, British Columbia: in S. Krastel et al. (eds.), Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research, 37, p.249-260,

Hughes Clarke, J.E., S. Brucker, J. Muggah, I. Church, D. Cartwright, P. Kuus, T. Hamilton, D. Pratomo and B. Eisan, (2012), The Squamish ProDelta: Monitoring Active Landslides and Turbidity Currents: Canadian Hydrographic Conference 2012, Proceedings, 15pp.

Liu Zhibo. (2013). The least depth point detection of wreck using multibeam water column imaging (in Chinese)[dissertation]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology

Marques C.R., Hughes Clarke J.E., (2012) Automatic mid-water target tracking using multibeam water column; Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference: The Arctic, Old Challenges, New Approaches; Niagara Falls, ON, Canada. May.

McGonigle C., Grabowski, J., Brown, C., Weber, T. C., Quin, R., (2011), "Detection of Deep Water Benthic Macroalgae Using Image-based Classification Techniques on Multibeam Backscatter at Cashes Ledge, Gulf of Maine, USA", Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 91. Elsevier, New York, NY, USA, pp. 87-101.

Melvin G D, Cochrane N A. (2015). Multibeam acoustic detection of fish and water column targets at high-flow sites. Estuaries and Coasts, 38(S1): S227–S240

Van der Werf A. (2010) Mast Tracking Capability of em 3002 d Using Water Column Imaging. Masters Abstracts International; University of New Brunswick; Brunswick, NB, Canada.

Weber, T. C., L. A. Mayer, J. Beaudoin, K. Jerram, M. A. Malik, B. Shedd, and G. A. Rice. (2012). Mapping gas seeps with the deepwater multibeam echosounder on Okeanos explorer. Oceanography 25: 54–55.

Testing storm impact modelling at São Pedro de Moel beach

Cabrita, P. (1); Ferreira, A. M. (2); Fortes, C. J. E. M. (2); Ferreira, O. (1); Freire, P. (2)

(1) CIMA/UALG – Marine and Environmental Research Centre/University of Algarve, Campus de Gambelas, Building 7, 8005-139, Faro, Portugal. a54406@ualg.pt

(2) LNEC – National Laboratory for Civil Engineering, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisbon, Portugal.

Abstract: Numerical models are useful tools to predict the effects of storms in coastal areas. The objective of this work was to simulate the effects of storms in São Pedro de Moel beach by using XBeach. The nearshore sea state was obtained by propagating offshore conditions using the SWAN model. The XBeach model was divided into two setups to analyse overtopping events and coastal evolution. Sensibility tests, calibration, and validation, using information from different storms, were performed for the different setups. The results from the overtopping simulation were compared against results from an empirical formula. The comparison showed lower values obtained with the empirical formula. The coastal evolution run point out to the necessity of having better field data before and after storms to improve the model setting and accuracy.

Keywords: coastal evolution, coastal storms, , empirical formula, overtopping, XBeach.

1. INTRODUCTION

Coastal storms have possible outcomes (wave overtopping, flooding, and erosion) on the coast that can have harmful consequences to the local and regional economy, infrastructures, human wellbeing or, in the worst cases, even take human lives (e.g., Ciavola et al., 2014; Vousdoukas et al., 2011). This is even more critical within a climatic change scenario, where the sea-level rise and storminess of a region can lead to an increase of overtopping, flooding, and erosion events. Those factors and the concentration of population in the coastal zones, has led to an increase of interest and a need for understanding and predict the effects of storms in coastal zones (Plomaritis et al., 2018).

A way to predict and understand the impacts of storms in beaches and associated areas is numerical modelling of the coastal morphological behaviour (Vousdoukas et al., 2011). One numerical model widely used to simulate the coastal evolution during a storm is XBeach (Roelvink et al., 2009). XBeach is a hydrodynamic and morphodynamic model that evaluates the wave runup, overwash and beach morphodynamics in a coastal area during storm conditions. However, the use of this model is restricted to small areas due to the significant computational effort. Moreover, the model results depend on some intrinsic parameters which should be calibrated for each coastal area. Application of XBeach to different coastal areas considering different storms conditions contributes to a better knowledge of the model itself, limitations and advantages, and especially on the behaviour of its intrinsic parameters.

The west coast of Portugal is exposed to severe storms, frequently promoting flooding and erosion. The Portuguese west coast (according to data from Figueira da Foz buoy) is exposed to storm conditions in average for 19.9 days per winter (Costa et al., 2001), turning it an area of interest to use the XBeach model to predict and understand coastal hazards. Situated on the west coast of Portugal, the village of São Pedro de Moel (Fig.1) has been impacted by different storms events that caused overtopping, flooding, or coastal erosion. Hercules, in 2014 (from the 4th to the 7th of January 2014, Santos et al., 2014) and Elsa, in 2019 (from 19th to the 22nd of December 2019), for example, were two storms with known impacts in the study area.



Fig. 1 – Study area and nested grid system used in SWAN (represented by the red rectangles). The yellow point represents where the offshore wave condition was extracted, and the green point represents the output positions of the SWAN results. São Pedro de Moel, Peniche and Nazaré are located by cyan triangles. Map built using MIRONE (Luis, 2007).

In this work, XBeach was used to simulate coastal storm effects on the beach of São Pedro

de Moel, considering the above-mentioned storms and a storm that occurred in February of 2019 (from the 18th to the 19th of February 2019).

Two XBeach setups were used, one to study the overtopping, using the non-hydrostatic mode and another to access morphodynamic evolution, using surf beat mode with bottom updating. The non-hydrostatic setup allows to analyse the storm effect in terms of runup and overtopping on the coastal areas, although it does not consider morphologic changes. The surf beat setup solves the short-wave variations on the wave group scale and the long waves associated with them, and it also solves the morphological processes to analyse the beach evolution during a storm event.

2. METHODOLOGY

2.1. Topographic and bathymetric data

The main bathymetric data regarding the area offshore São Pedro de Moel was obtained through the EMODnet Bathymetry portal. This bathymetry, in conjunction with bathymetric data from LIDAR 2011 (nearshore) and the topographic data from field campaigns done on the 12th of February of 2019 (LNEC, 2019), were used. The topographic data from the field campaigns had high-resolution beach profiles of the São Pedro de Moel beach but also included the existing seawall and the main square connected to the seawall that has been subjected to overtopping events.

2.2. Wave and tide conditions

The offshore wave conditions were obtained from the ECMWF Centre (Richardson et al., 2013), at the coordinates -9.6º W, 40º N in the coordinate system EPSG:3763 ETRS89/Portugal TM06 (Fig.1) at a depth of 185 m below mean sea level (MSL). The water level (tide) information was obtained from WXTide32 (Flater, 2007) for a point near Peniche. To propagate the wave conditions from offshore to nearshore SWAN model (Booij et al., 1997) was used with three nested grid system. The resulting wave condition (significant wave height, Hs, peak period, Tp, mean period, Tm, and mean direction, Dir) were extracted at a point near São Pedro de Moel with the coordinates -9.045143º W 39.75535º N and at the bathymetric of 10 m below the MSL (Fig.1). The extracted data were used as input in the XBeach model and at the empirical formula.

2.3. XBeach

XBeach model is applied in a more restricted area, namely from the area behind the beach structure (7.5 m above MSL) until the bathymetric of 15 m below MSL. Two tests were performed by using non-hydrostatic, and surf beat XBeach setups. For each XBeach setup, a set of sensibility tests was performed to different intrinsic parameters. Then the XBeach setups were calibrated according to the available information. Finally, both setups were applied to the Hercules storm.

In the non-hydrostatic setup, the objective was to evaluate the discharge of the overtopping events at the structure crest and the maximum runup extension relative to the crest of the structure. For this setup, it was performed a sensibility test for the following parameters: *bedfriccoef, CFL, nhlay, maxbrsteep*, and bathymetry resolution (XBeach manual, Deltares, 2018). With the results from the sensitivity tests, the model was calibrated according to Elsa storm information (estimated from a national news report). The validation was performed by simulating the Hercules storm (2014) using the calibrated model. The calibration and validation were done by using estimated values regarding qualitative information (news and internet videos) for the runup extension and the theoretical mean overtopping discharge according to the CEM critical values (USACE, 2002) for each considered storm. The XBeach results (mean overtopping discharge) were also compared with the results from an empirical formula proposed by Mase et al. (2013). The empirical formula considered the wave results from SWAN for the Elsa and Hercules storms and the combined bathymetry data from 12 m below MSL to 7.5 m above MSL.

The surf beat setup focused on the beach morphology evolution. In this setup, it was necessary to define the structure (rigid) area to have no erosion effects at the seawall. For the sensitivity tests, the variables tested were *alpha*, bathymetry resolution, *bermslope*, *beta*, *CFL*, *delta*, *dryslp*, *dtheta_s*, *dzmax*, *facua*, *gamma*, *gammax*, *hswitch*, *lws*, *morfac*, *n*, *thetamax*, *thetamin*, *turb* and *wetslop* (XBeach manual (Deltares, 2018)). With the information from the sensitivity tests, the models were calibrated using the storm that occurred in February 2019, and the results compared with the survey performed by LNEC on 19th of February of 2019 (post-storm) (LNEC, 2019). After the model calibration, the Hercules storm (2014) was simulated.

3. RESULTS

3.1. Empirical Formula

The results from Mase et al. (2013) formula show that the mean overtopping discharge for the Elsa and Hercules storms are 4.27×10^{-06} $m^3/s/m$ and 4.05×10^{-05} $m^3/s/m$, respectively.

3.2. *Non-hydrostatic setup*

The results of the sensitivity tests demonstrated that the more sensitive parameters for the non-hydrostatic setup were *nhlay, bedfriccoef, maxbrsteep* and the bathymetric resolution. Those parameters were adjusted to calibrate the model until the results achieved the estimated values: near 18 m for maximum runup extension from the crest of the structure and an interval of [10^{-4} 10^{-3}[$m^3/s/m$ for the discharge at the structure crest. These results were defined as "ideal" for the Elsa storm after the observation of a national news report and the CEM table regarding the critical mean overtopping discharge values (USACE, 2002). The parameter settings that reached closer to those estimated values were *bedfriccoef*=0.0195 *nhlay*=0.33, *maxbrsteep*=0.6 and a bathymetric resolution of 0.5 m. Those parameters settings were used to simulate the Hercules storm (2014). Using the same sources (news/videos and CEM critical values), the estimated value for runup landward extension is near 29 m relatively structure crest and discharge of $\geq 10^{-3}$ $m^3/s/m$, for the Hercules storm. The results are shown in Table I.

Table I - Comparison between results from the model (runup extension related to the structure crest and the mean overtopping discharge at the structure crest (Disch)) against the estimated values for Elsa and Hercules storms.

	Calibration Storm Elsa		Validation Storm Hercules	
	Runup landward extension (m)	Disch. ($m^3/s/m$)	Runup landward extension (m)	Disch ($m^3/s/m$)
Estimated	~18	[10^{-4} 10^{-3}[	~29	$\geq 10^{-3}$
Results	16.1	9.74×10^{-4}	27.9	5.15×10^{-3}

3.3. *Morphodynamic runs*

The morphodynamic's sensibility tests demonstrated a stronger influence of the following parameters: *alpha*, bathymetric resolution, *beta, delta, facua, gamma, morfac, n, lws e bermslope*. The goal of the calibration of this type of run was for the results to be as near as possible to the post-storm profile obtained after the February 2019 storm (profile from 19th of February of 2019). The test that was closest to those results had a Brier Skill Score (BSS) of 0.85. The parameters values used in this calibration test were *alpha*=0.8, *beta*=0.8, *gamma*=0.8, *bermslope*=0.1, *facua*=0.15, *morfac*=5 and a bathymetric resolution of 1 m. However, it must be mentioned that the post-storm profile represented accretion (beach recovery) and not erosion (Fig.2).

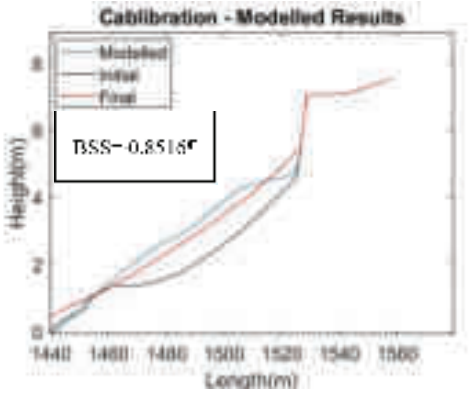


Fig. 2 - Modelled results after calibration runs (closest to the post-storm beach profile).

A simulation for the Hercules storm was performed using the above-mentioned parameters (Fig.3), which also resulted into beach accretion, a result that is opposite to the field observations, newspapers and video footages records, all showing strong erosion.

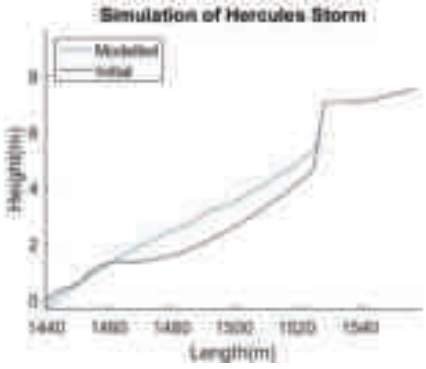


Fig. 3 - Result from the simulation of the Hercules storm using the calibration's parameter values.

4. DISCUSSION

The results of this work showed some limitations in both setups. In the non-hydrostatic setup, the inexistence of quantitative information was the major limitation. It was necessary to use nonscientific sources of information to establish values in order to calibrate and validate the setups. Table I shows that it was possible to adjust the model to reach the estimated values of the runup landward extension and mean overtopping discharge at the structure crest. This is highly valuable since it allows the further use of the validated model to estimate discharge values and runup extension to other storms at the study area.

When comparing the discharge values from the empirical formula and XBeach's non-hydrostatic setup, the empirical formula shows a lower value for both coastal storms. This suggests that by validating a process-based model, the obtained values can be more accurate than using a more generic formulation.

The surf beat setup demonstrates the limitations of applying a morphodynamic model without proper validation and calibration. The available data for this work was a recovery profile, showing accumulation on the post-storm profile regarding the February 2019 storm. The calibration was done using the only available data, and thus the model setup is tuned towards beach recovery. When applied to the Hercules storm, it also gave beach accretion (Fig.3), not allowing to mimic the generic observation of erosion caused by that storm. Thus, model calibration requires adequate data sets and a strong field effort, without which the obtained values are not trustable.

5. CONCLUSION

Two XBeach setups were used to simulate overtopping and beach evolution at São Pedro de Moel. The non-hydrostatic setup showed that it is possible to simulate overtopping events at São Pedro de Moel with good accuracy when compared to estimates. Nevertheless, the non-hydrostatic model still presented limitations due to the lack of quantitative information on overtopping events. Improvements will require *in situ* measurements using current meters, videos or holding tanks.

The surf beat setup provided erroneous results for the Hercules storm simulation as a consequence of the performed calibration (against a post-storm recovery profile). This demonstrates the need for having suitable field data immediately before and after storms. It also suggests that morphological data from low energy storms (with smaller erosion and quick recovery) might not be enough to promote adequate calibration for high energy events (like Hercules).

Acknowledgements

The authors acknowledge the following projects: Mosaic.pt, Ref. PTDC/CTA-AMB/28909/2017, To-SEAlert, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 and EWCoast ALG-LISBOA-01-145-FEDER-028657.

REFERENCES

Booij, N., Holthuijsen, L. H., and Ris, R. C. (1997). "The 'Swan' Wave Model for Shallow Water." *Coastal Engineering 1996*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, 668–676.

Ciavola, P., Ferreira, O., Van Dongeren, A., Van Thiel de Vries, J., Armaroli, C., and Harley, M. (2014). "Prediction of Storm Impacts on Beach and Dune Systems." *Hydrometeorological Hazards: Interfacing Science and Policy*, 9781118629, 227–252.

Costa, M., Silva, R., and Vitorino, J. (2001). "Contribuição Para O Estudo Do Clima De Agitação Marítima Na Costa Portuguesa." *2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, AIPCN/PIANC Secção Portugal*, 20.

Deltares. (2018). "XBeach Documentation: Release XBeach v1.23.5527 XBeachX FINAL."

LNEC. (2019). "Mosaic.pt field campaigns - Cova-Gala, Vieira and São Pedro de Moel beaches, January-March 2019." (March).

Luis, J. F. (2007). "Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data." *Computers and Geosciences*, 33(1), 31–41.

Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S., and Reis, M. T. (2013). "Wave Runup and Overtopping at Seawalls Built on Land and in Very Shallow Water." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(5), 346–357.

Plomaritis, T. A., Costas, S., and Ferreira, Ó. (2018). "Use of a Bayesian Network for coastal hazards, impact and disaster risk reduction assessment at a coastal barrier (Ria Formosa, Portugal)." *Coastal Engineering*, 134(February 2017), 134–147.

Richardson, D. S., Bidlot, J., Ferranti, L., Haiden, T., Hewson, T., Janousek, M., Prates, F., and Vitart, F. (2013). "Evaluation of ECMWF forecasts, including 2012--2013 upgrades." (December), 55.

Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., and Lescinski, J. (2009). "Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands." *Coastal Engineering*, Elsevier B.V., 56(11–12), 1133–1152.

Santos, Â., Mendes, S., and Corte-Real, J. (2014). *Impacts of the storm Hercules in Portugal*. *Finisterra*.

USACE. (2002). "Coastal Engineering Manual." *Coastal Engineering Manual*, 1100(August 2001), 1–62.

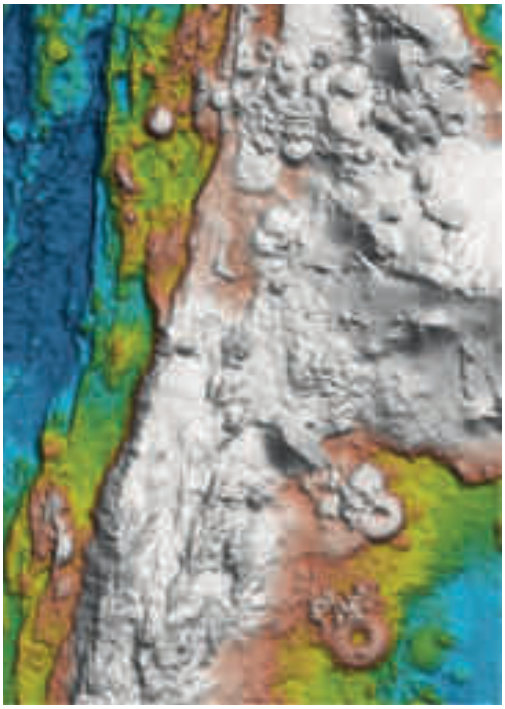
Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P., and Ferreira, Ó. (2011). "Modelling storm-induced beach morphological change in a meso-tidal, reflective beach using XBeach." *Journal of Coastal Research*, (SPEC. ISSUE 64), 1916–1920.

WEB REFERENCES

Flater, Dave. (2007). "WXTide 32" from http://www.wxtide32.com/

CARTOGRAFIA

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Aplicación práctica de la cartografía multihaz en la gestión de los fondos marinos, ejemplos: Fort D'en Moreu (Islas Baleares) y Puerto de Santander (Cantabria)

Muñoz, A. (1); Elvira, E. (1); Martín, D. (1); Pérez, I. (1); Pascual, L. (1)

(1) Grupo de Cartografiado Marino (Tragsatec-Secretaria General de Pesca), C/ Valentín Beato, 6, pl. 3, 28037 Madrid (España). E-mail: amur@tragsa.es

Abstract: The term "seabed" includes both the physical structure and the biotic composition of benthic communities. A wide variety of habitats are associated with depth, which in turn is related to the geological nature of the bottoms. Any management measure that is intended to be introduced in an area with reasonable success must previously have a detailed investigation of the characteristics of the seabed, beginning with the most basic, depth. The Secretaría General de Pesca has three oceanographic vessels equipped to carry out these analyzes. Two practical cases of application of multibeam mapping in specific areas are presented. Fort D'en Moreu (Balearic Islands), with the application of measures to protect the marine ecosystem (Modification Order AAA / 1504/2014). The second case, Santander Port, where carrying out a detailed bathymetry in an area of active sedimentary dynamics, favors the management of the required works.

Key words: management, marine ecosystems, multibeam mapping, sedimentary dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la investigación es un eje fundamental para la toma de decisiones en el ámbito Comunitario en materia de gestión pesquera y medioambiental, como queda reflejado en el Reglamento de la Política Pesquera Común.

La necesidad de conocer mejor nuestros mares para una gestión eficaz de sus recursos, lleva a la Secretaría General de Pesca (SGP) a desarrollar a bordo de los tres buques con los que cuenta, diferentes Campañas de Investigación, entre las que se incluyen las destinadas a la caracterización del relieve y composición de los fondos marinos mediante la realización de Cartas de Pesca, a partir del estudio de la batimetría y de las características geológicas y geofísicas de los mismos.

En el marco de estas investigaciones, el Grupo de Cartografiado Marino de Tragsatec para SGP, ha realizado varias campañas de investigación a bordo de los buques B/O Emma Bardan y B/O Vizconde de Eza en la zona sur de la isla de Mallorca (ESPACE-0814, AMEBEC-1014) y en la zona cantábrica (Cantabria-2011, Cantabria-0217, Cantabria-0304-17).

Estas campañas han proporcionado un conjunto de datos que permiten un análisis exhaustivo y detallado del fondo marino tanto en el área de Fort D'en Moreu (Mallorca), como en el área del Puerto de Santander (Cantabria). En la zona de Fort D'en Moreu, el objetivo principal de la investigación fue localizar y cartografiar los posibles Ecosistemas Marinos Vulnerables (EMV), en especial los lechos de mäerl, aumentando así el conocimiento sobre los hábitats marinos, su estado de conservación y las amenazas, de manera que permitiera seleccionar y proponer sitios de protección especial.

En el Puerto de Santander el estudio tenía como objetivo la cartografía de alta resolución del fondo marino en el interior del puerto para determinar la morfología existente y caracterizar los elementos sedimentarios. Los datos permitirían comparar y contrastar la morfología a pequeña escala de estos fondos, con el objetivo de delinear los principales procesos sedimentarios que operan a través del puerto y colaboran en su progresiva colmatación.

El objetivo global, es describir y caracterizar el fondo marino en dos áreas tan diferentes, y mostrar cómo estos análisis pueden colaborar en la toma de decisiones en ámbitos completamente distintos.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Se presentan aquí los resultados de la investigación realizada en dos áreas separadas geográficamente y con características diferentes entre sí (Fig. 1).

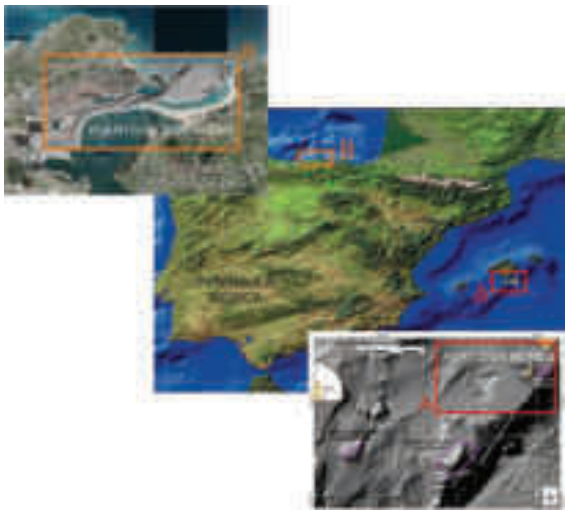


Fig. 1. Mapa de situación de las áreas de estudio. El rectángulo rojo (A) corresponde al área de Fort D'en Moreu. El rectángulo naranja (B) marca el área del Puerto de Santander

El área de estudio, Fort D'en Moreu, se localiza en la plataforma insular de Mallorca, localizada en el Mediterráneo Occidental. Concretamente, se sitúa mar adentro del cabo de Ses Salines, al W limita con el Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera y al E y S con el escarpe de Emile Baudot (Fig. 1).

La segunda zona de estudio, el Puerto de Santander, se localiza en la costa norte de la Península Ibérica, concretamente en la Bahía de Santander, donde varios cursos de agua vierten sus aguas y tienen lugar una amplia variedad de actividades humanas (Fig. 1).

2.1. Fort D'en Moreu

El área de Fort D'en Moreu se sitúa en el Promontorio Balear. El promontorio separa la Cuenca Baleárico-Provenzal, de la Cuenca Argelino-Balear y limita al SE por el Escarpe del Emile Baudot orientado NE-SW.

Las islas Baleares coinciden con el límite natural entre dos subcuencas del Mediterráneo occidental. La subcuenca argelina, al S, que recibe aguas de origen atlántico, cálidas y menos salinas y la subcuenca balear, al N, con aguas más frías y salinas. Los canales existentes entre las islas facilitan el transporte e intercambio de masas de aguas entre ellas. El patrón general de circulación muestra que la Corriente Norte (NC) procedente del golfo de León se bifurca en el golfo de Valencia generando dos ramas. La principal va hacia el S, atravesando el Canal de Ibiza y transportando agua fría internándose en la cuenca argelina. La otra rama retorna al NE, formando la Corriente Balear (BC), por el talud occidental de las islas (Balbín et al., 2014).

En el sur, el agua atlántica (AW) se desplaza por la cuenca argelina generando una corriente superficial, la Corriente Argelina (AC) que transcurre a lo largo de la costa (Balbín et al., 2014). Está dominada por intensos remolinos que se desprenden de la corriente principal y alcanzan las Islas Baleares. Al quedarse estacionarios, provocan un estancamiento de la circulación y el desvío de aguas superficiales atlánticas hacia los canales inter-islas.

Las mareas presentan una escasa oscilación y el rango es menor a 0,5 m. El oleaje predominante, según los datos modelados para el punto SIMAR 2120110, tiene componente E y una altura media de ola de 0,7 m (Puertos del Estado, 2020).

2.2. Puerto de Santander

El Puerto de Santander se localiza en el interior de la Bahía de Santander. La morfología original ha sufrido importantes cambios en los últimos siglos, estimándose un relleno del 50% de la extensión inicial. En la parte exterior se encuentra la ensenada del Sardinero, con la isla de Mouro. A continuación el acceso al interior, denominado Ría del Astillero, se produce por un estrecho paso situado entre la península de la Magdalena, cerca de la cual se localizan varios islotes y el arenal de El Puntal, una larga barra longitudinal que protege las aguas internas de la bahía.

En pleamar el área aparece como una gran bahía, mientras en la bajamar muestra grandes bancos de arena que dejan canales entre ellos. El más grande, constituye el canal principal de navegación que discurre a lo largo de la orilla norte de la bahía continuando hasta la población de Astillero. Este canal en la bajamar escorada asegura un calado de 12 m, que permite la navegación de buques de gran porte (Derrotero del Puerto de Santander). La ría del Astillero, debe dragarse periódicamente por obstruirse parcialmente por el Arenal del Puntal.

En el Golfo de Vizcaya las capas superiores de agua están condicionadas por la *Eastern North Atlantic Central Water* (ENACW), afectada por la mezcla invernal y con variación estacional del agua superficial. Una rama gira antes de llegar a las Islas Británicas orientándose al SE, penetrando el Golfo de Vizcaya, y se dirige al W en el Cantábrico. Las corrientes superficiales están cerca de la costa y paralelas a esta. En invierno hay una corriente que discurre hacia el E, girando al N en la costa francesa. En verano, hay otra corriente paralela a la costa generada por eventos de afloramiento, en los que la capa de agua superficial se mueve mar adentro hacia el W y es sustituida por agua más profunda (Lavín et al., 1998). Ambas son de tipo oscilatorio, dependiendo de los vientos reinantes.

Las corrientes más intensas se producen en invierno con temporales, con una variación en la altura de la marea de +/- 0,3-0,5 m. En el interior del puerto, la corriente vaciante tiene dirección hacia el E y la entrante hacia el W. La vaciante en mareas vivas llega a 3 nudos. Las corrientes de marea alcanzan valores muy considerables. Por ejemplo en la bahía, confluyen con la corriente que baja del Río Cubas, y la vaciante puede alcanzar los 5 nudos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Adquisición de datos

Los datos fueron recogidos por el B/O Vizconde de Eza con un multihaz Kongsberg EM 302 (432 haces; pulso FM) y por el B/O Emma Bardan con un multihaz Kongsberg EM 2040D (512 haces resolución de 10,5 mm). Los datos se procesaron utilizando el Sistema Hidrográfico de Procesamiento CARIS. Se aplicaron correcciones de mareas y de velocidad del sonido y se limpiaron los datos de la sonda para eliminar los errores. Los datos filtrados se cuadricularon en una malla con resolución en función de la ecosonda usada y la profundidad (25 y 2 m tamaño de celda) integrándose con un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS© v. 10.4.1). Las muestras de sedimento se recogieron con draga boxcorer y shipeck. El sistema de posicionamiento dinámico junto a un sistema diferencial de posicionamiento

global, permitió tomar muestras con un error de posición del barco <0,5 m. El tamaño del grano se analizó por difracción láser con el analizador Mastersizer 2000 de Malvern. Se adquirieron perfiles sísmicos utilizando una ecosonda paramétrica TOPAS 015 Kongsberg, que genera un haz estrecho de baja frecuencia (<5°) por interacción no lineal en la columna de agua a partir de dos haces de alta frecuencia y alta intensidad. La frecuencia resultante va de 0,5 a 6 kHz. En la adquisición se aplicó un procesamiento estándar, que incluía TVG y el filtrado de paso de banda.

4. RESULTADOS

4.1 Morfología en el área de Fort D'en Moreu

En la zona de Fort D'en Moreu (en adelante FDM) se cubrió con ecosonda multihaz un área de 38,53 km^2. La zona objetivo tiene una morfología de "L" invertida con la zona vertical situada al W y la zona horizontal orientada W-E (Fig. 2). En la zona, la profundidad mínima es de 60 m en el sector N y la máxima 103 m en el sector SW.

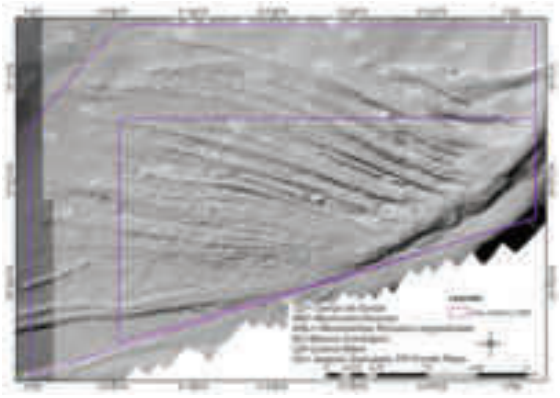


Fig. 2. Modelo digital de elevación en Fort D'en Moreu.

En el área localizada al NW de la zona, se ha identificado un campo de dunas con una extensión de 1,83 km^2, formado por más de 225 dunas de cresta recta y cresta sinuosa. La orientación es NE-SSW y su característica más destacada es ser simétricas, indicando un posible origen debido a corrientes de oscilación. Al S del campo de dunas, pueden observarse afloramientos rocosos estableciéndose varios tipos. Existen afloramientos rocosos de pequeño diámetro generando estructuras aisladas pseudocirculares, denominados Montículos Rocosos, con un diámetro entre 30 y 40 m. No son muy frecuentes, concentrándose en el N y W.

Los afloramientos rocosos de mayor entidad son los Afloramientos Rocosos Longitudinales, con una orientación aproximada W-E y longitud de entre 2-5 km. Su anchura no sobrepasa los 300 m. Se encuentran aislados entre zonas de material sedimentario. Asociados a estos, aparecen los Montículos Rocosos_b, variación de los montículos pseudocirculares, caracterizados porque su origen puede ser biológico sobre un sustrato rocoso previo. Pueden individualizarse del afloramiento rocoso longitudinal.

Cuando los afloramientos rocosos se encuentran colonizados por organismos, permiten diferenciar texturas al constituir un biotopo diferenciable. Son texturas asociadas a Bancos de Coralígeno (Fig. 2). Se presentan alargados con orientación 340º. Su anchura es menor que en los afloramientos rocosos longitudinales con menor porcentaje de zonas sedimentarias entre ellos (Fig. 2). El techo de estos afloramientos con coralígeno, ya sean bancos o cornisas, puede aparecer como una superficie plana sin estructuras biológicas.

Existen Fondos o Bancos o Lechos de Maërl, formando capas que generan relieve sobre el fondo marino que los rodea (Fig. 2). Estas zonas pueden presentarse también degradadas y/o cubiertas por una fina capa de material sedimentario. Una textura muy peculiar de Aspecto Granulado se produce por agrupación de elevaciones en un área irregular, o concentradas en estructuras alargadas (Fig. 2). Parecen corresponderse con zonas de maërl deterioradas. Las muestran indican arenas muy gruesas con pobre selección del tamaño de grano. El porcentaje de materia orgánica es del 3,2%.

El tipo de fondo sedimentario más habitual es el Fondo Plano. Se localiza entre afloramientos rocosos alargados y al W de la zona. Las muestras indican que son arenas medias de color marrón claro muy mal seleccionadas. Un elemento muy característico del área, no restringido a ningún tipo específico de textura, son las Lineaciones Erosivas con varias direcciones, destacando la NE-SW. Se interpretan como marcas de arrastres de pesca que modifican sustancialmente el fondo marino. En zonas de concentración de la actividad, se produce un levantamiento de las primeras capas exponiendo las capas inferiores, que serían las causantes de los cambios de textura.

4.2 Morfología submarina del Puerto de Santander

La zona de estudio va desde el límite de los muelles, hasta 24 m de profundidad en la bahía, y cubre una superficie de 6,73 km^2. Se realizó una clasificación con un posterior análisis morfométrico de las estructuras, que posibilitará la toma de decisiones futuras sobre la zona. Se describen las características partiendo del área de la Bahía, y progresando por el canal de entrada hasta el límite cartografiado (Fig. 3). En la parte inicial hay Fondos de Roca con tendencia lineal paralela a costa. Están fracturados en dos direcciones principales. Hacia el centro, un Área Sedimentaria plana constituye el fondo general. Se identifican áreas con Marcas de Dragado con forma lineal o irregular. Progresando hacia el interior, en la parte de la bahía y la inicial del canal, existen Áreas Sedimentarias con formas de corriente y una zona central Sedimentaria Ondulada a gran escala, con

formas menores superpuestas. En el inicio del canal principal hay Marcas de Dragado.

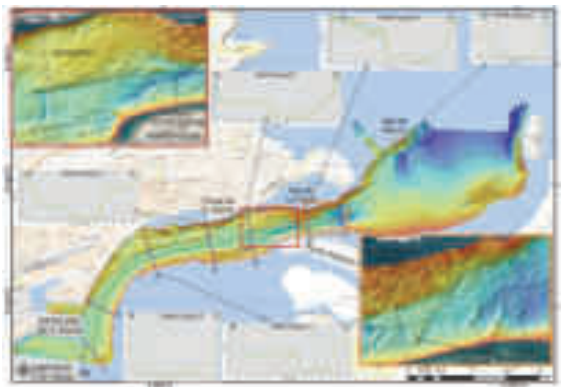


Fig. 3. Modelo digital de elevación del Puerto de Santander. 1-6: Perfiles Topográficos. Rectángulos: Detalles MDE.

A continuación en la orilla N, hay un Área Sedimentaria cubierta con formas menores limitada por un acantilado recto. El inicio del canal, es un fondo sedimentario con formas de corriente de 30 cm de altura y 50-80 m de longitud. En la parte N del fondo del canal hay Afloramientos Rocosos Semicubiertos. Según avanzamos, puede observarse la presencia de Estructuras Lineales orientadas N-S, que parten de ambas orillas hacia el centro del canal, tienen una longitud media de 70 m y una altura de 2 m. El fondo del canal, está cubierto de Estructuras de Corriente. En la orilla N, continúan los Afloramientos Rocosos Semicubiertos.

Cerca de la isla de la Torre hay un estrechamiento del canal (290 m). Existen Afloramientos y un Fondo Rocoso Rugoso que se extiende en forma de media luna hasta la mitad del canal, intercalándose con las estructuras lineales de la orilla S (Fig. 3). El canal vuelve a ensancharse a la altura de Punta Rabiosa y en ambas orillas hay Fondos Sedimentarios. En el S continúan las Estructuras Lineales NE-SW. La orilla N tiene Fondos Sedimentarios Planos, con estructuras de corriente y Zonas con Marcas de Dragado, que limitan en una línea recta con el canal principal. El límite en la orilla S, es más difuso y constituido por Sedimentos con Estructuras de Corriente. Aquí las dunas tienen dos direcciones. Una, N-S con 60 m de longitud y 50 cm de altura y otra NW-SE, con 80 m de longitud y 40 cm de altura. Las direcciones indican una divisoria de corrientes (Fig. 3). En las proximidades de la Punta San Martín, puede observarse el centro del canal cubierto de Formas Sedimentarias, una Zona de Dragado con forma de luna creciente y 1,20 m de relieve. A partir del dique de Gamazo, hay de W a E, 100 m de Fondos Rocosos, 145 m de Fondos Sedimentarios y el canal con 161 m de ancho y 15 m de profundidad. Ya en la orilla S, existen 231 m de Fondos Sedimentarios.

Hacia el interior, el canal gira y es NE-SW. En la orilla S se mantienen los Fondos Sedimentarios irregulares sin estructuras de corriente. El canal tiene 175 m de ancho y una profundidad de 15 m. La orilla N presenta Fondos Sedimentarios, Marcas de Dragado con Fondo Rugoso. Continuando hacia el interior, hay Fondos Sedimentarios muy irregulares. En la Estación de Puerto Raos (Fig.3), hay una anchura cartografiada de 448 m, casi N-S. El canal principal ocupa 244 m con 15 m de profundidad. Existen Fondos Sedimentarios en la orilla E y en la W, Fondos Dragados con formas rectangulares de 3,4 m y 60x30 m. Se agrupan en un espacio de 440x60m, que pasa de dirección N-S a E-W, en ambas orillas del muelle de la dársena sur de Raos, donde finaliza la cartografía.

5. CONCLUSIONES

En el área de Fort D'en Moreu, el estudio generó la aplicación de medidas de protección del ecosistema marino, mediante orden ministerial (Modificación Orden AAA/1504/2014) protegiendo dicha zona al quedar incluida dentro del Parque Nacional Maritimo-Terrestre de la Isla de Cabrera.

El análisis realizado en el Puerto de Santander, constata la necesidad de continuar con las labores de dragado, debido a la gran movilidad de los sedimentos que constituyen el fondo. La progresiva colmatación perjudica a este puerto frente a otros puertos cercanos como Gijón o Bilbao. Su situación dentro de una bahía supuso en el pasado una ventaja por la protección que ésta daba a los barcos. Hoy dificulta el crecimiento del puerto. Desde hace tiempo se plantea la necesidad de construir un puerto exterior. El proyecto se ha descartado numerosas veces por el coste, pero deberían considerarse en primer lugar, los graves problemas medioambientales que causaría.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del Grupo de Cartografiado Marino (Tragsatec-SGP), agradecen a la Secretaría General de Pesca el tiempo de barco y el uso de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

Balbín, R., López-Jurado, J.L., Aparicio-González, A., Serra, M. (2014) Seasonal and interannual variability of dissolved oxygen around the Balearic Islands from hydrographic data *Journal of Marine Systems*, 138, 51-62.

Lavín, A., Valdés, L., Gil, J., Moral, M. (1998). Seasonal and interannual variability in properties of surface water off Santander (Bay of Biscay) (1991-1995). *Oceanological Acta*, 21 (2), 179-190.

Puertos del Estado (2020) http://www.puertos.es/es-es/ oceanografia/Paginas/portus.aspx

O futuro da Cartografia Hidrográfica em Portugal

Vicente, J. ([1]); Monteiro, C. ([2]); Veiga, L. ([2]); Sanches, P. ([2])

(1) Instituto Hidrográfico. delgado.vicente@hidrografico.pt

(2) Instituto Hidrográfico.

Resumo: A cartografia hidrográfica tem como objetivo a representação da morfologia e da natureza do fundo das zonas imersas e da região emersa adjacente. O exercício de atividades no âmbito da produção de cartografia hidrográfica é regulado pelo Instituto Hidrográfico, conforme consta do decreto-lei n.º 130/2019, de 30 agosto. As especificações publicadas até à data, sempre visaram os levantamentos hidrográficos, nas formas e métodos utilizados, assim como, a harmonização dos produtos finais resultantes da execução dos levantamentos hidrográficos. Torna-se claro, que o objetivo da legislação referida é mais amplo. Neste contexto, urge regular a cartografia hidrográfica no contexto dado pela lei. A presente comunicação tem por objetivo dar a conhecer as linhas de ação no desenvolvimento de novas especificações, assim como, a promoção da participação da sociedade e de outras instituições na sua elaboração. Só com uma participação ativa é possível garantir uma cartografia hidrográfica nacional que sirva o desígnio da lei.

Palavras-chave: cartografia hidrográfica, especificações técnicas, hidrografia.

1. INTRODUÇÃO

A cartografia hidrográfica (CH) tem como objetivo a representação da morfologia e da natureza do fundo das zonas imersas e da região emersa adjacente. O exercício de atividades no âmbito da produção de CH é regulado pelo Instituto Hidrográfico (IH), conforme consta do decreto-lei n.º 130/2019, de 30 agosto, doravante designado de Lei da Cartografia (LC).

O IH pretende, a curto prazo, produzir novas especificações técnicas para a CH de modo a adaptá-las às necessidades dos utilizadores e às atuais capacidades tecnológicas, representando a informação geográfica em formato vetorial, baseada num modelo de dados e estruturada em níveis de detalhe distintos, definidos em função da área a cartografar.

Esta cartografia poderá ser utilizada para múltiplos fins, dos quais se podem destacar o suporte às políticas e atividades públicas a nível nacional e local e o apoio ao desenvolvimento de projetos e estudos em todos os setores socioeconómicos.

Excetua-se deste contexto a cartografia náutica (CN) dos espaços marítimos de interesse nacional, também da responsabilidade do IH, mas que tem como fim específico a segurança da navegação.

A presente comunicação tem por objetivo divulgar as principais linhas de orientação e ações por parte do IH com vista a efetivar as responsabilidades enunciadas na atual LC.

2. CARTOGRAFIA NÁUTICA VS CARTOGRAFIA HIDROGRÁFICA

De acordo com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (designada de convenção SOLAS), uma carta náutica consiste num mapa com um propósito especial ou numa base de dados compilada da qual tal mapa é gerado, produzido para atender as especificações e requisitos da segurança da navegação marítima, sendo publicado oficialmente por ou sob a autoridade de um Governo, Serviço Hidrográfico ou outra instituição governamental com essa competência atribuída pelo Estado. Difere ainda de outros mapas por ser afetada continuamente de atualizações, através do serviço oficial de Avisos aos Navegantes.

A CN (seja em papel ou eletrónica) já fez parte da cartografia hidrográfica oficial tal como foi sendo definida na LC até à publicação do decreto-lei n.º 130/2019. Ao contrário das anteriores, a atual redação da LC retira a sua aplicabilidade à cartografia náutica. A razão é simples, enquanto a cartografia náutica tem por objetivo a segurança da navegação e é regulada por especificações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), o objetivo da redação atual da LC, tal como já era expresso no preâmbulo da sua redação original (decreto-lei n.º 193/95) e reafirmado nas sucessivas revisões, é mais amplo e visa estabelecer os princípios e as normas a que deve obedecer a produção cartográfica no território nacional. Afirma ainda que a cobertura cartográfica do País é um instrumento indispensável à prossecução dos objetivos do ordenamento e da gestão do território nacional e, ainda, a numerosas atividades potenciadoras do desenvolvimento económico e social.

A CN é caracterizada por ilustrar os objetos com relevância para os navegantes, dando primazia à segurança na representação do relevo (sondas mínimas relevantes e isóbatas geradas a partir de um conjunto apropriado de sondas mínimas), em escalas

normalizadas de acordo com a localização do navegador podendo ser agrupadas, consoante o propósito da navegação, nas séries: geral, oceânica, costeira, aproximação, portuária e atracação. Daqui resulta que os elementos cartográficos que garantam a segurança sejam mais relevantes que o detalhe ou a forma dos objetos.

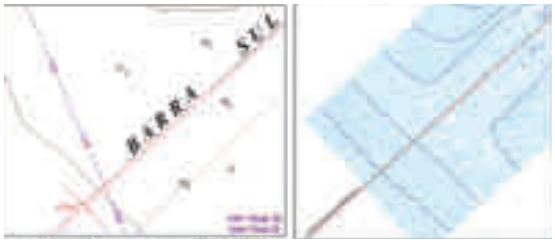


Fig. 1. À esquerda um extrato da carta náutica 26303, à escala 1:15000, localizando a entrada da barra sul do porto de Lisboa, observando-se apenas as sondas mínimas essenciais para os navegadores e as isóbatas dos 15 e dos 20 m. À direita, a visualização de um extrato de um produto de cartografia hidrográfica à escala 1:5000 de um levantamento, realçando-se a diferença em número de sondas e de isóbatas representadas comparativamente com a imagem da esquerda.

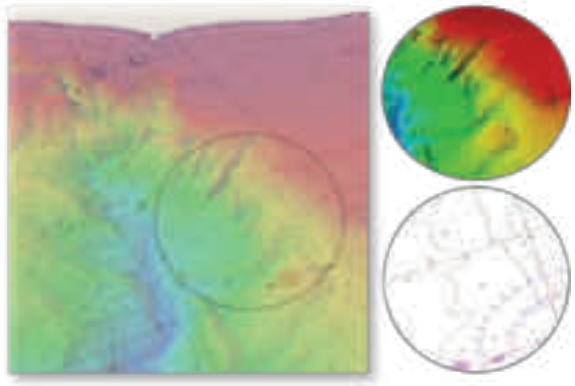


Fig. 2. A ilustração pretende diferenciar o detalhe da informação hidrográfica constante num modelo batimétrico e a correspondente informação constante numa carta náutica.

A atual cobertura da CN nacional é apropriada para o seu objetivo específico, mas para outros fins apresenta uma variabilidade de caraterísticas com algumas fragilidades, como por exemplo:

- Diferentes coberturas hidrográficas, existindo uma cobertura de maior resolução e atual nos portos, mas de menor resolução e mais antiga na orla costeira;
- Diferentes níveis de incerteza dos dados hidrográficos;
- Alguns dos dados representados são muito antigos;
- Vias fluviais e albufeiras sem planeamento de cobertura exceto nas áreas já com cartografia fluvial publicada nos rios Douro e Guadiana;
- Não existe uma representação uniforme do território (diferentes escalas);
- Diferentes sistemas de referência, tanto planimétricos como altimétricos;
- Generalização da informação batimétrica considerável de modo a facilitar o uso pelos navegantes.

Torna-se claro que a CN não serve adequadamente os Instrumentos de Gestão Territorial (IGT), razão fundamental para que tivesse sido excluída em termos de aplicabilidade da LC na redação de 2019.

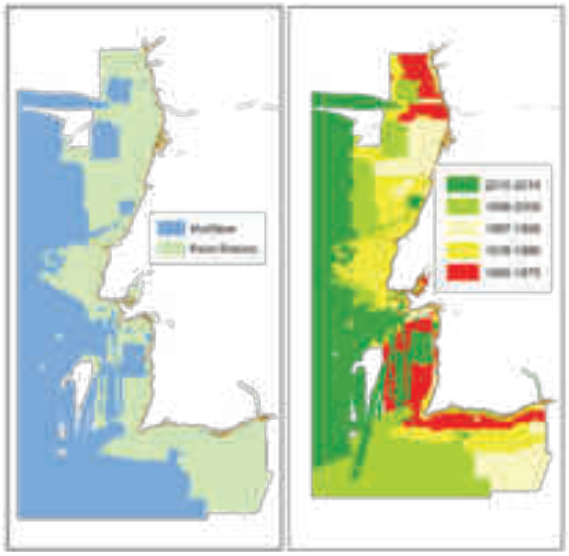


Fig. 3. Cobertura hidrográfica existente em Portugal continental

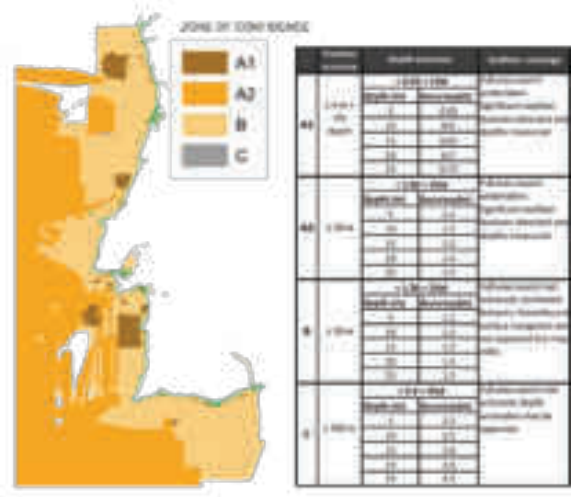


Fig. 4. Níveis de confiança da informação hidrográfica existente, para efeitos de produção de cartografia náutica.

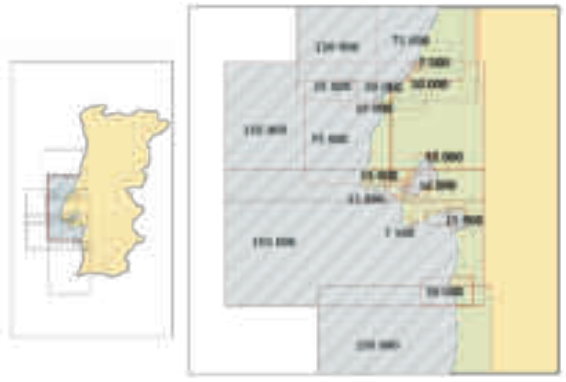


Fig. 5. A representação do território nacional na cartografia náutica não é uniforme pois as escalas dependem da relevância de uma determinada área para a segurança da navegação.

Tabela I – Detalhe da representação do relevo submarino em função da escala das cartas náuticas.

Escala	Portos (1:4000 a 1:30000)	Costeiras (1:75000 a 1:350000)	Geral (1:350000 a 1:1500000)
Isóbatas representadas	0, 2, 5, 10, 15*, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200	0, 10, 20, 30, 50, 75*, 100, 150*, 200, 300, 500, 1000, 1500*, 2000, 3000, …	0*, 30, 100, 200, 500, 1000, 2000, 3000, …
Profundidades (espaçamento médio entre profundidades)	1 cm a 5 cm na representação, 150 m a 750 m no terreno	2 cm a 7 cm na representação, 3000 m a 10500 m no terreno	Ex: CN21101 (1/1 000 000) 2 cm a 10 cm na representação, 20000 m a 100000 m no terreno
*opcional			

3. ORIENTAÇÕES E LINHAS DE AÇÃO

O IH tem publicadas especificações para a cartografia hidrográfica, seja produzida pelo IH (oficial) ou para homologação de cartografia hidrográfica produzida por terceiros. No entanto, estas especificações, publicadas em 2009, foram elaboradas de forma a normalizar, em função de uma escala não pré-definida, a representação de objetos resultantes de levantamentos hidrográficos independentemente do seu propósito. Tem-se constatado que estas especificações (IH, 2009) são insuficientes para o propósito da LC. Assim, torna-se necessário adaptar as especificações técnicas de cartografia aos desenvolvimentos tecnológicos e às atuais necessidades dos utilizadores de informação geográfica. Paralelamente, constata-se a necessidade de uma relação direta entre a cartografia produzida em Portugal e as regras definidas pela Diretiva INSPIRE, facilitando a harmonização da informação geográfica nacional, o que se materializa na necessidade de harmonização e consistência entre a cartografia hidrográfica e a cartografia oficial produzida e/ou homologada pela Direção Geral do Território (DGT), cujas normas foram publicadas em 2019 (DGT, 2019) estando disponíveis em

Identificam-se as seguintes necessidades:

- Elaboração de especificações técnicas para a cartografia hidrográfica que permitam a representação espacial da morfologia e da natureza do fundo das zonas imersas e da região emersa adjacente, permitindo uma cobertura homogénea de todo o território nacional e que sirva os IGT e quaisquer outras necessidades exceto a segurança da navegação;
- Definição do modelo de dados (tanto quanto possível em harmonia com o modelo de dados da DGT);
- Elaboração da definição dos objetos;
- Atualização das especificações para a realização de levantamentos topográficos e hidrográficos com vista à produção de cartografia hidrográfica.

Neste contexto, as especificações da cartografia hidrográfica importam à Administração Pública Central e Local, aos produtores e utilizadores em geral de informação geográfica. Para melhor definir o futuro da cartografia hidrográfica em Portugal, o IH propõe-se trabalhar com as diversas entidades com competências nos espaços marítimos sob jurisdição nacional, e em águas interiores relevantes, de modo a permitir a publicação de novas especificações adaptadas às necessidades dos principais envolvidos. Para tal, o IH considera relevante:

- Análise crítica das normas e especificações técnicas em vigor;
- Auscultação de especialistas externos;
- Divulgação alargada;
- Contribuição da Administração Pública Central e Local, academia, empresas e cidadãos;
- Avaliação por parte do Conselho de Orientação do Sistema Nacional de Informação Geográfica e do Conselho Coordenador de Cartografia;
- Realização de provas de conceito.

3.1 O registo da atividade

Com exceção dos organismos produtores de cartografia oficial, encontra-se sujeito a mera comunicação prévia ao IH o exercício de atividades no domínio da produção de cartografia hidrográfica. É parte integrante da mera comunicação prévia a declaração na qual o comunicante se obriga a respeitar as normas e especificações técnicas, vigentes para o exercício das atividades no âmbito da produção de cartografia hidrográfica, disponíveis em https://www.hidrografico.pt/op/45. O registo da atividade encontra-se atualmente em remodelação, passará brevemente a ser efetuado através do portal ePortugal dinamizado pela Agência para a Modernização Administrativa.

3.2 O modelo de dados

Tendo em consideração que será constituída uma base de dados nacional de cartografia que irá estruturar e organizar a informação geográfica, será adotado um modelo de dados compatível com o da cartografia topográfica, tendo em conta as especificidades da cartografia hidrográfica, permitindo representar todo o território nacional de forma harmonizada.
Terá como estrutura base:

- Um conjunto de 9 temas (tão próximos quanto possível dos temas da cartografia topográfica);
- 3 Níveis de detalhe;
- Dados vetoriais;
- Base de Dados *open source*.

3.3 Níveis de detalhe e temas da cartografia hidrográfica

Ao contrário da topografia terrestre, a resolução e detalhe dos modelos batimétricos são definidos em

função da profundidade. Os atuais sondadores multifeixe são ainda os meios mais eficazes na obtenção de dados para modelar o fundo marinho, sendo que a sua resolução varia, em regra, entre 2 a 5% da profundidade, consoante as características técnicas dos equipamentos utilizados. Assim, numa primeira análise, os níveis de detalhe a definir são também função da profundidade. Contudo, não existe uma cobertura batimétrica geral do território que permita definir um único nível de detalhe de elevada resolução. Assim, os níveis de detalhe também são função do interesse de uma dada área para os produtores e utilizadores de cartografia hidrográfica, existindo uma responsabilidade de quem adquire dados de garantir os requisitos mínimos para que a nova informação hidrográfica cumpra as especificações para uso na produção de cartografia hidrográfica.



Fig. 6. Temas da cartografia hidrográfica

Serão considerados dois tipos de modelos:

- Modelos locais: para a representação das áreas de interesse na gestão do território marinho nacional, em regra em profundidades inferiores a 200 m, assim como em águas interiores, com os temas/entidades que cumprem os níveis de detalhe I e II.
  - Nível de detalhe I: modelos digitais de terreno gerados a partir de informação de elevada resolução, que possibilitem a utilização da informação em mapas à escala base 1:2000. Resolução base dos modelos batimétricos entre 8 e 32 m.
  - Nível de detalhe II: modelos digitais de terreno que possibilitem a utilização da informação em mapas à escala base 1:10000. Resolução base dos modelos batimétricos de 32 a 64 m.
- Modelo regional: representação do fundo marinho de zonas oceânicas de interesse nacional, com base num modelo batimétrico global, e com os objetos considerados relevantes (áreas de jurisdição, área protegidas, toponímia das estruturas marinhas, cabos submarinos, entre outros).
  - Nível de detalhe III: resolução dos dados de profundidade de aproximadamente 64 a 128 m.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aquisição de dados hidrográficos é uma atividade muito dispendiosa que requer equipamentos específicos e pessoal técnico preparado e se possível certificado para tal. Em Portugal, são diversas as entidades que realizam ou promovem levantamentos hidrográficos que, em regra, devem obedecer às especificações da OHI. Estas, estão em processo de revisão de modo a contemplarem não só os levantamentos para atualização da cartografia náutica, mas todos e quaisquer levantamentos. A partir destas especificações o IH indicará os requisitos mínimos para a realização de levantamentos que possam contribuir para a produção de cartografia hidrográfica oficial ou homologada. É inquestionável que todos os atores devam fazer um esforço para adequar as especificações e que partilhem com o IH a informação batimétrica de modo a que se consiga melhorar a cobertura/resolução existente ou, alternativamente, produzam cartografia hidrográfica e que solicitem a sua homologação. Sem um compromisso de partilha, o IH, por si só, não tem recursos suficientes para garantir a disponibilização a nível nacional de uma cartografia hidrográfica que seja adequada aos princípios da Lei da Cartografia.

REFERÊNCIAS

IH (2009). Especificações técnicas para a produção de cartografia hidrográfica. Instituto Hidrográfico. (Disponível em: https://www.hidrografico.pt/recursos/files/lei_carto/ESPECIFICACOES_TECNICAS_PROD_CART_HIDROGRAFICA.pdf.)

DGT (2019). Aviso n.º 11918/2019, publicado no Diário da República, 2ª série, n.º 140 de 24 de julho de 2019 (Normas disponíveis em: https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-topografica/normas-especificacoes-tecnicas).

Infraestrutura Geodésica de Portugal

Ribeiro, H. (1); Medeiro, A. (1); Bernardes, A. (1)

(1) Direção-Geral do Território. hribeiro@dgterritorio.pt

Resumo: O estabelecimento e manutenção da Infraestrutura Geodésica de Portugal é uma das atribuições da Direção-Geral do Território (DGT).
Para a definição do Referencial Geodésico a DGT conta com as 47 estações da Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS (ReNEP) e os 7963 vértices geodésicos da Rede Geodésica Nacional. Atualmente a DGT está a elaborar um estudo com vista à definição de uma nova Rede Geodésica e à revisão das suas coordenadas.
Para a definição do Datum Vertical a DGT tem instalado em Cascais um marégrafo analógico, a funcionar desde 1882. Em 2018 foram instalados 2 novos marégrafos, em Cascais e Lagos, de tecnologia Radar para substituir os marégrafos acústicos instalados em 2003.
Nesta comunicação vamos apresentar alguns resultados preliminares do estudo para a definição da nova rede geodésica e também descrever a forma como as medições do nível médio do mar são realizadas com base nos registos dos novos marégrafos.

Palavras-chave: ETRS89, geodesia, GNSS, marégrafos, nível do mar, referencial, ReNEP.

1. INTRODUÇÃO

A Direção-Geral do Território (DGT) é a entidade responsável pelo estabelecimento e manutenção da Infraestrutura Geodésica de Portugal.
Em 2016 a DGT elaborou um documento estratégico, designado por "Geodesia 2020", sobre o que se pretendia para o futuro imediato da Infraestrutura Geodésica.
Este documento define as linhas orientadoras de uma infraestrutura geodésica nacional, que adquira, processe e disponibilize informação de posicionamento, do campo gravítico e do nível do mar.
Tendo como base a visão Geodesia 2020, neste trabalho vamos apresentar dois dos projetos essenciais para o estabelecimento e manutenção dos referenciais geodésicos de Portugal: a Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS (ReNEP) e a rede de marégrafos da DGT.
A ReNEP é a infraestrutura de estações permanentes GNSS que contribui para a definição do Referencial Geodésico Nacional. É de salientar que algumas das estações pertencem a redes internacionais da maior relevância para a definição dos sistemas de referência globais e regionais, nomeadamente ao International GNSS Service (IGS) e à EUREF Permanent Network (EPN).
Uma das atividades essenciais no âmbito da ReNEP, envolve o estudo do ajustamento em bloco das coordenadas desta rede com as coordenadas dos Vértices Geodésicos (VG) da Rede Geodésica, que foram observados com GNSS, com vista à sua homogeneização e consequente melhoria de precisão. Este ajustamento, para Portugal Continental, consubstancia-se numa nova realização do ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) tendo como base o ITRF2014 (International Terrestrial Reference Frame 2014), conforme recomendado pela European Reference Frame (EUREF).
Para a definição do Datum Vertical, a DGT tem instalado em Cascais um marégrafo analógico, a funcionar desde 1882, o qual está integrado nas redes internacionais de marégrafos. Devido à longa série temporal bem como à sua localização, os seus registos são essenciais para os estudos da subida do nível médio do mar. Além do marégrafo de Cascais, a DGT é também responsável pelo marégrafo de Lagos, a funcionar desde 1908.
Em 2003 foram adquiridos dois equipamentos digitais acústicos para substituir os sistemas analógicos, melhorando assim a precisão e permitindo a obtenção de dados em tempo-real. Devido aos avanços tecnológicos, e de forma a poder prestar um melhor serviço à comunidade, a DGT instalou em outubro de 2018 dois marégrafos de tecnologia RADAR.
Nesta comunicação vamos apresentar alguns resultados preliminares do estudo em curso para a definição da nova realização do ETRS89 para Portugal Continental e também descrever a forma como as medições de nível médio do mar são realizadas em Cascais e Lagos através dos novos marégrafos com tecnologia RADAR.

2. A ReNEP

A ReNEP apresenta já a sua configuração final, constituída por 42 estações no Continente, 4 na Região Autónoma dos Açores e 1 na Região Autónoma da Madeira. Das 47 estações, 44 pertencem à DGT e 3 são parcerias, sendo o bastante para uma cobertura eficaz do território nacional (Fig. 1). Esta cobertura permite a manutenção do referencial geodésico e o apoio a trabalhos de posicionamento em tempo-real e/ou pós-processamento.



Fig. 1. ReNEP: Rede de Estações Permanentes da DGT

É de salientar que algumas das estações pertencem a redes internacionais da maior relevância para a definição dos sistemas de referência globais e regionais, nomeadamente ao International GNSS Service (IGS) e à EUREF Permanent Network (EPN).

A DGT tem investido na modernização e atualização dos equipamentos da ReNEP. Com vista à receção do sinal Galileo foram adquiridos 6 novos equipamentos e atualizados outros 10 já existentes. Atualmente a ReNEP integra já 13 estações a receber o sinal Galileo e até ao final de 2020 esperamos ter mais 3 estações atualizadas com os novos equipamentos.

2.1. Produtos da ReNEP

Os produtos disponibilizados pelas estações para pós-processamento são ficheiros RINEX horários a 5s, podendo também ocorrer outras taxas de recolha a pedido dos clientes. Os ficheiros são disponibilizados via ftp em ftp://ftp.dgterritorio.pt/ReNEP. No que respeita às estações pertencentes à rede EPN e ao IGS, os dados enviados são horários e diários a 30s.

Para as observações em tempo-real (RTK), as correções diferenciais têm formato RTCM 3.1 (e 2.3), sendo disponibilizados três produtos: "base única manual", "estação mais próxima" e "rede".

Com o produto "base única manual", o utilizador escolhe a estação da qual vai receber as correções diferenciais.

No produto "estação mais próxima", o sistema da rede determina a estação mais próxima do local onde o utilizador se encontra e envia as correções diferenciais da mesma.

Nas correções de "rede", com base na sua posição, o utilizador recebe correções diferenciais de uma rede de pelo menos 5 estações, formada pelas estações que se encontram mais próximas da sua área de trabalho.

O produto mais escolhido continua a ser a "estação mais próxima", apesar da solução de rede fornecer maior fiabilidade (Fig. 2).

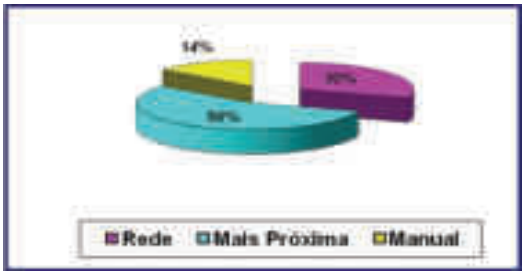


Fig. 2. ReNEP: Tipo de ligações ao servidor (ano de 2019)

Atualmente a ReNEP conta com cerca de 3 800 utilizadores registados para o serviço RTK, ocorrendo em média, em dias úteis, mais de 50 000 ligações mensais ao servidor (Fig. 3).

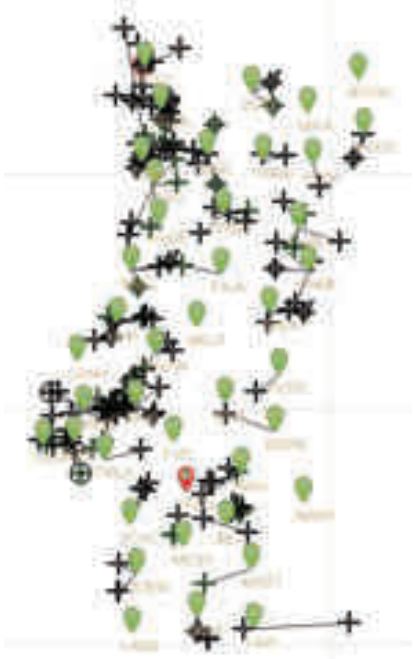


Fig. 3. ReNEP: Ligações RTK (exemplo do dia 11 de março 2020 às 11h55)

Nos últimos anos tem-se notado uma maior diversidade nos utilizadores da ReNEP, com o crescimento de dois grupos muito específicos na área da agricultura de precisão e na área do cadastro simplificado, mantendo o aumento constante de utilizadores na área da cartografia e topografia.

2.2. Adoção de uma Nova Realização do ETRS89

A atual realização do ETRS89 em Portugal Continental teve como base as observações da campanha GPS IBERIA95 (referencial: ITRF96 à época 1995.4). As coordenadas dos vértices geodésicos de 1ª e 2ª ordens resultam do ajustamento em bloco das observações GPS efetuadas entre 1997 e 2004, constrangido à solução oficial da campanha IBERIA95.

A coordenação das estações que constituem a ReNEP foi sendo realizada à medida que as estações foram

sendo instaladas, através da ligação a vértices geodésicos (VG) de 1ª ordem, ajustadas às coordenadas ETRS89 dos vértices.

Para as Estações Permanentes (EP) instaladas após 2010 as coordenadas foram calculadas com base nas EP envolventes à nova EP.

Assim, as coordenadas atuais ETRS89 não são homogéneas e coerentes entre as estações da ReNEP e a Rede Geodésica de Portugal Continental. Por outro lado, os 25 anos que decorreram desde a campanha IBERIA95 justificam também a atualização do referencial geodésico.

Neste sentido, é necessário proceder ao ajustamento em bloco da rede global, incluindo a ReNEP e os VG da Rede Geodésica com vista à sua homogeneização e melhoria de precisão global das coordenadas das duas redes.

Os resultados preliminares apresentados neste estudo pretendem avaliar as repercussões da adoção de uma nova realização do ETRS89, e dos resultados do ajustamento em bloco da ReNEP e da Rede Geodésica de 1ª ordem.

Tendo como base as coordenadas ETRF2014 à época 2010.0 das EP da ReNEP resultantes do ajustamento efetuado em 2018 por (Mendes, 2018) procedeu-se a uma comparação com as coordenadas oficiais da ReNEP. Na tabela seguinte são apresentadas as diferenças obtidas para o plano cartográfico (PT-TM06/ETRS89). As altitudes usadas na comparação foram as elipsoidais, de modo a não ser necessário introduzir o modelo de Geóide.

Tabela I: Diferenças ETRF2014 (2010.0) - PT-TM06/ETRS89 para as EP da ReNEP. (Unidades: metro)

	M (m)	P (m)	h (m)
máximo	-0,042	0,095	0,141
média	-0,061	0,078	-0,009
mínimo	-0,097	0,058	-0,092
desvio padrão	0,012	0,009	0,040

Efetuou-se um estudo semelhante para estimar a alteração que as coordenadas da Rede Geodésica de 1ª ordem podem sofrer com a adoção da nova realização do ETRS89.

Na figura seguinte (Fig. 4) podemos ver o vetor das diferenças entre o ETRF2014 à época 2010.0 e o atual PT-TM06/ETRS89 para as EP da ReNEP e os VG de 1ª ordem. Em termos de coordenadas cartográficas as diferenças encontradas para os VG não diferem significativamente das determinadas para as EP da ReNEP, tanto em valor como em distribuição geográfica. No caso da altimetria é necessária uma análise mais profunda, pois foram encontrados valores nalguns pontos que poderão ser considerados *outliers*. As observações devem ser verificadas de forma a eliminar possíveis erros de medição de alturas de antenas e verificar se a rede processada poderá ser menos consistente (falta de observações ou menos VG) em algumas zonas do território.

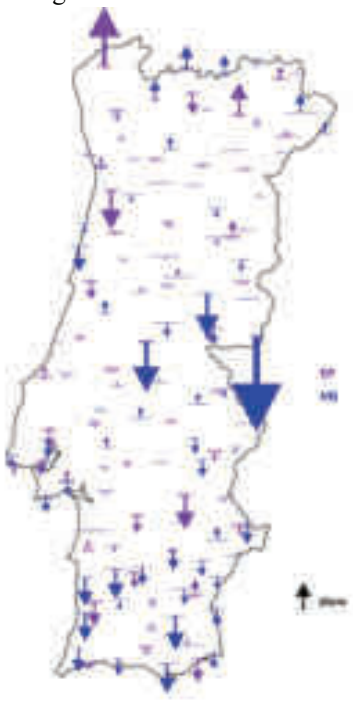


Fig. 4. Diferenças ETRF2014 (2010.0) - PT-TM06/ETRS89 para a ReNEP e os VG de 1ª ordem

A adoção de uma nova realização do ETRS89, baseado no ITRF2014, obriga à obtenção de novas coordenadas para as Estações Permanentes da ReNEP tendo em consideração o ajustamento em ETRF2014 (2010.0) resultante do ajustamento efetuado por (Mendes, 2018). Implica também ajustar os VG da Rede Geodésica composta por todas as observações GNSS que ligam os VG entre si à ReNEP, constrangendo o ajustamento à solução das EP, obtendo novas coordenadas para os VG de 1ª ordem e de 2ª ordem que têm observações GNSS. Esta fase implica a validação dos milhares de observações existentes e a análise da sua qualidade, pelo que este processo será muito moroso.

3. OS MARÉGRAFOS DA DGT

A Rede Maregráfica da DGT é constituída por dois marégrafos, instalados em Cascais e Lagos.

O marégrafo de Cascais tem especial relevância, não só porque foi o primeiro a funcionar em Portugal, mas, principalmente, porque os seus registos de 1882 a 1938 permitiram a definição do Datum Altimétrico de Portugal Continental.

Os equipamentos maregráficos da DGT começaram por ser analógicos, marégrafos de Borrel, foram posteriormente substituídos por sistemas digitais acústicos e atualmente utilizam tecnologia RADAR.

3.1. Sensores de tecnologia RADAR

Os novos sensores adquiridos pela DGT em 2018 são de tecnologia RADAR (Fig. 5) e permitem obter precisões na ordem dos 2 milímetros em toda a sua gama de medidas, muito superiores às obtidas com sensores de outras tecnologias como os de ultrassons. Tratam-se de sensores que permitem a medição rigorosa e contínua do nível do mar. O seu funcionamento baseia-se em impulsos de micro-ondas extremamente curtos, que são irradiados pelo sistema da antena sobre a superfície do mar, os quais são refletidos e novamente captados pela antena.



Fig. 5. Sensor de nível de RADAR (Cascais e Lagos)

Com cerca de um ano de observações simultâneas entre os sensores de radar e os acústicos é possível aferir as medidas dos novos sensores, tal como foi feito anteriormente aquando da instalação dos sensores acústicos. A figura seguinte (Fig. 6) mostra o resultado da comparação dos dados de medição de maré do sensor acústico e do sensor de radar em Cascais entre outubro de 2019 e junho de 2020, o que permite concluir que os dois equipamentos têm vindo a medir os mesmos valores e indiciando que o novo marégrafo é fiável.

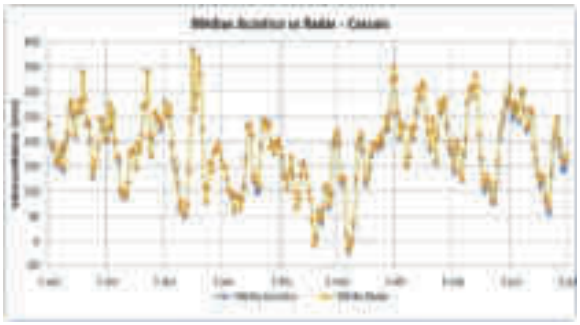


Fig. 6. Cascais: Comparação dos registos de maré entre o marégrafo acústico e o radar (médias diárias)

3.2. Os registos maregráficos

A longa série temporal do Marégrafo Analógico de Cascais, que continua ainda nos dias de hoje a registar no papel os valores do nível médio do mar, permite tirar algumas conclusões sobre a variação do nível médio do mar, como se pode observar na Fig. 7.

Estes registos permitem a monitorização contínua da variação do nível do mar e são alvo de muitos estudos e análises (Antunes, 2016).

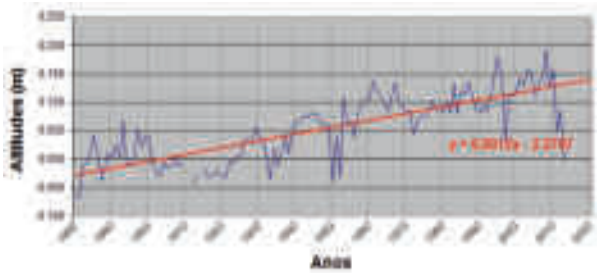


Fig. 7. Variação temporal do Nível Médio do Mar em Cascais (médias anuais dos registos do marégrafo analógico)

A aquisição dos marégrafos digitais acústicos em 2003 permitiu melhorar a precisão dos dados e facilitar o seu acesso. A recolha das leituras do nível do mar nos marégrafos analógicos é um processo moroso e depende da interpolação visual da curva que representa o nível do mar, sendo também por esse facto menos rigoroso. Os marégrafos acústicos e de radar, além de mais precisos, têm também a capacidade de gestão remota, permitindo obter dados em tempo real, com uma cadência de 5 segundos.

4. CONCLUSÕES

A DGT pretende fornecer um serviço de qualidade à comunidade científica e à sociedade em geral que cada vez mais tem acesso à informação geográfica e necessita de maior rigor na sua localização. Assim, pretendemos continuar a investir na melhoria dos equipamentos da ReNEP, com a atualização dos equipamentos GNSS para a receção do sinal Galileo e melhorando as coordenadas da rede GNSS, permitindo um posicionamento mais preciso.

A instalação dos novos marégrafos permite a disponibilização dos dados em tempo-real a todos os utilizadores. Os registos maregráficos são alvo de muitos estudos e análises, permitindo, por exemplo, fazer um controlo da subida do nível médio do mar e avaliar as suas implicações nas zonas ribeirinhas. Estes estudos são fundamentais para a definição de estratégias e de tomadas de decisão para o futuro que permitam minimizar os efeitos provocados pelas alterações climáticas.

REFERÊNCIAS

Mendes, V. B. (2018). Ajustamento das Coordenadas da Rede Nacional de Estações Permanentes. Relatório de execução da Cláusula 4.ª do Acordo Específico estabelecido entre a Direção-Geral do Território (DGT) e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), em 26 de abril de 2018.

Antunes, C. (2016). Subida do Nível Médio do Mar em Cascais, revisão da taxa atual. Atas das 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 21 a 23 de junho, Págs 163-166.

Cartografia Náutica do Rio Minho: Duas Nações, uma solução conjunta

Reis, A. R. (1); Moura, A. (1); Sanches, P. (1); Vicente, J. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. E-mail: ana.reis@hidrografico.pt

Resumo: O Instituto Hidrográfico (IH), no âmbito das suas atribuições e competências, é responsável pela produção de cartografia náutica em áreas geográficas de interesse nacional e internacional.

O rio Minho constitui uma fronteira natural entre Portugal e Espanha, tendo a barra e foz cobertura assegurada no fólio de cartografia náutica mantido pelo IH.

A barra e foz do Rio Minho apresentam-se assim como uma zona de interesse comum a Portugal e Espanha tendo estes países, através dos seus Serviços Hidrográficos, IH e IHM (Instituto Hidrográfico de la Marina) respetivamente, impulsionado medidas de cooperação conjuntas relativas à realização de levantamentos hidrográficos, definição de superfícies de referência verticais comuns, intercâmbio de informação e produção de cartografia náutica.

Este artigo pretende expor as estratégias adotadas, focando-se na representação cartográfica e nas atividades desenvolvidas para o efeito, com a proposta de alteração da cobertura cartográfica da foz do Rio Minho atualmente existente.

Palavras-chave: cartografia náutica, cooperação IMH, referencial vertical comum, rio Minho.

INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH), no âmbito das suas atribuições e competências, é responsável pela produção de cartografia náutica, em áreas de interesse nacional e internacional, mais concretamente de cartas náuticas em formato papel (CN) e de Cartas Eletrónicas de Navegação (CEN). O Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), de Espanha, tem competências e responsabilidades semelhantes ao IH no que diz respeito à cartografia e hidrografia. O protocolo de cooperação estabelecido entre os dois institutos tem como principais objetivos permitir a partilha de experiência e conhecimentos com o propósito da segurança da navegação, impulsionando os dois países, a definirem estratégias conjuntas, nomeadamente: na realização de levantamentos hidrográficos (LH), definição de uma superfície de referência comum, definição de limites marítimos, intercâmbio de informação geográfica e produção de cartografia náutica. Para o efeito, realiza-se anualmente uma reunião bilateral, onde são definidas as ações que visam a colaboração e cooperação entre os dois institutos.

Este artigo foca-se na solução conjunta acordada para a representação cartográfica da Foz do Rio Minho, com uma proposta de alteração à carta CN26409 "Caminha a Vila Praia de Âncora", e de alteração à cobertura CEN.

1. CARTOGRAFIA NÁUTICA DA FOZ DO RIO MINHO

1.1. Enquadramento geográfico

A foz do rio Minho é uma zona de interesse, não só para a cartografia náutica, mas para a comunidade hidrográfica em geral, por se tratar de um rio internacional partilhado por Portugal e Espanha. O rio Minho nasce na Galiza, na serra de Meira, a uma altitude de 750 m e desagua em Portugal, no oceano Atlântico, frente a Caminha e La Guardia, após um percurso de 300 km, dos quais 230 km situam-se em Espanha, servindo os restantes 70 km de fronteira entre os dois países, desde Melgaço até à foz (CADC - Comissão de Seguimento da Convenção de Albufeira, acedido em agosto de 2020) (APA, 2016).

O porto de Caminha localiza-se na foz do rio Minho, onde também desemboca o rio Coura. A confluência dos dois rios pode ter efeitos variáveis, produzindo alterações importantes do ponto de vista da posição, direção do canal de acesso ao porto, assim como nas suas profundidades (Loureiro, 1904-1982).

1.2. Enquadramento histórico – Cartografia e Levantamentos Hidrográficos

Os primeiros trabalhos hidrográficos realizados no porto e barra de Caminha datam de 1864 a 1868, contudo nunca chegaram a ser publicados. Mais tarde, em 1886, foram realizados novos LH no rio Minho, já nessa altura efetuados conjuntamente entre Portugal e Espanha (Loureiro, 1904-1982).

No início do século XX é elaborado um Plano Hidrográfico de Caminha, levantado em 1913 no âmbito da Missão Hidrográfica da Costa de

Portugal, à escala de 1:20000 (Fig. 1) (Loureiro, 1904-1982). Em 1978 foi publicada a 1ª edição da CN 51 "Barra e Porto de Caminha"[1] que integrou o LH realizado pela Brigada Hidrográfica (BH) em 1977 (Fig.1).



Fig. 1. À esquerda plano hidrográfico, Caminha, levantado em 1913 (Carvalho E., Frade, R., acedido em agosto 2020); à direita CN 51 "Barra e Porto de Caminha", 1978.

A CN51, cujo referencial geodésico era o *Datum* Lisboa, foi cancelada em 2011 com a publicação da CN26409 "Caminha a Vila Praia de Âncora", em WGS84. Na sua construção foram utilizados os LH de ordem 1b[2], realizados em 2006 e 2011.



Fig. 2. LH realizados em 2016: à esquerda, LH realizado com sondador multifeixe, Ordem 1a; à direita, LH realizado com sondador feixe simples, Ordem1b.

Em junho/julho de 2016 foi realizado o mais recente levantamento topo-hidrográfico (LTH) em Caminha, em colaboração com o IHM (Fig.2), que teve como objetivo adquirir informação batimétrica atualizada da foz, assim como determinar a altitude de Marcas de Nivelamento (MN), em Portugal e Espanha, para estudo da diferença entre os referenciais verticais utilizados nesta zona.

1.3. Referenciais altimétricos

Na cartografia náutica, o Datum altimétrico utilizado pelo IH, é o oficialmente adotado para Portugal Continental – Cascais 1938, relativamente ao qual foi estabelecido o plano do Zero Hidrográfico (ZH) (*Chart Datum*), 2.0 m abaixo, para referenciar os valores de profundidade representados nas CN. Por sua vez, o Datum altimétrico utilizado por Espanha, nesta zona do território, difere do Português, o que pode originar a representação de valores diferentes para a mesma medida. Tal facto acarreta alguns problemas e limitações em zonas de fronteira entre os dois países, especialmente no que concerne à redução ao ZH dos dados de sondagem. Tendo em vista a adoção de uma superfície hidrográfica comum, nas reuniões bilaterais foram definidas as seguintes linhas de ação conjuntas: observação de marcas de nivelamento e de marcas dos marégrafos nas respetivas redes geodésicas, bem como a avaliação e melhoria dos modelos locais do geóide em Portugal e Espanha, e a realização de estudos que permitam a determinação da diferença entre as superfícies de referência verticais utilizadas em ambos os países.

1.4. Atual cobertura cartográfica

No IH, as cartas náuticas encontram-se organizadas no Fólio Cartográfico obedecendo a um conjunto de critérios, e agrupadas consoante o propósito e as necessidades específicas da navegação, existindo as seguintes séries, para as cartas em formato papel: Oceânica, Costeira ou de Aproximação, Águas Restritas ou Portuárias, Costeira ou de Aproximação com planos de portos, Planos, Fluvial, Pescas, Recreio e Militares.

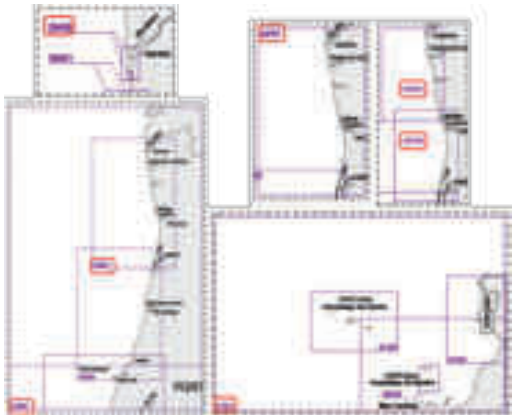


Fig. 3. Esquema representativo do Fólio Cartográfico nacional de CN, área do rio Minho.

Paralelamente, as CEN encontram-se agrupadas de acordo com a sua utilização nas designadas Usage Band (UB), existindo a seguinte correspondência: UB1 – Oceânica, UB2 – Geral, UB3 – Costeira, UB4 – Aproximação, UB5 – Portuária e UB6 – Atracação. Em concreto, a área da foz do rio Minho tem cobertura garantida pelas CN identificadas na Figura 3, e respetivas características na Tabela I.



Tabela I. Tabela resumo das CN que cobrem a área do rio Minho.

[1] CN 51, pertencente ao Antigo Fólio Cartográfico – fólio anterior a 1994, data em que foi estabelecido o novo fólio, F94, com as mais recentes recomendações internacionais.

[2] De acordo com a publicação S-44 "IHO Standards for Hydrographic Surveys", 5ª Edição, 2008.

Destas CN, destaca-se a 1ª Edição (2011) da CN26409 "Caminha a Vila Praia de Âncora", sobre a qual recai o estudo deste artigo, com dois planos: um geral à escala 1:10 000, e um plano do porto de Vila Praia de Âncora à escala 1:5 000 (Fig. 4).



Fig. 4. Imagem da 1ª Edição da CN26409 atualmente em vigor.

Relativamente à CEN, a área da foz do rio Minho é atualmente coberta pelas células representadas na Figura 5 e identificadas na Tabela II. Destas CEN realça-se a 1ª Edição (2012) da célula militar-UB5 PT528M01 "Caminha a Vila Praia de Âncora, escala de compilação 1:8 000.



Fig. 5. Esquema representativo do Fólio Cartográfico nacional de CEN, área do rio Minho em destaque.

Tabela II. Tabela resumo das CEN que cobrem a área do rio Minho.

De forma análoga, o IHM assegura a representação da foz do rio Minho, no seu Fólio Cartográfico, com as seguintes CN (Fig. 6 e Tabela III), destacando-se a CN417 "De las Islas Cíes al río Miño", à escala 1:60000, com plano "Puerto de A Guardia", à escala 1:10 000.

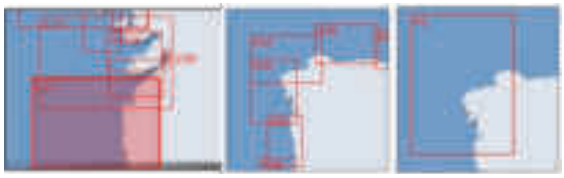


Fig. 6. Esquema representativo do Fólio Cartográfico IHM de CN, área do rio Minho.

Tabela III. Tabela resumo das CN publicadas pelo IHM, na área do rio Minho.

Relativamente à cobertura CEN, o IHM tem publicadas as seguintes células (Fig.7 e Tabela IV):

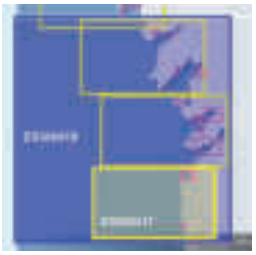


Fig. 7. Esquema representativo do Fólio Cartográfico CEN do IHM, área do rio Minho.

Tabela IV. Tabela resumo das CEN publicadas pelo IHM, na área do rio Minho.

1.5. Proposta para a nova cobertura cartográfica

Na elaboração de uma nova proposta cartográfica é necessário atender a vários aspetos, nomeadamente, o tipo de navegação a que se destina, garantindo a segurança da navegação, os critérios de construção e manutenção de um fólio, a representação de áreas de interesse para a navegação, bem como limites jurisdicionais, entre outros.

Para a área de estudo, a elaboração da nova proposta ganha outra dimensão por se tratar de uma zona de fronteira entre Portugal e Espanha, cuja solução tem vindo a ser acordada entre os dois países. Enquanto as CN, formato de papel, admitem sobreposição entre cartas da mesma série cartográfica, as CEN, não admitem sobreposições, o que leva a soluções que podem diferir das adotadas para o papel.

Da análise da cobertura cartográfica existente, é possível detetar-se que no Fólio nacional CN não existe representação no intervalo de escalas para a série Aproximação, existindo cobertura costeira, à escala de 1:150 000, passando diretamente para uma cobertura portuária à escala 1:10 000 (ver Fig.4 e 5 e Tabela I). Esta questão, aliada à existência de novas necessidades, como por exemplo, uma melhor adequabilidade à navegação a que se destina e a representação de toda a área de jurisdição da Capitania do Porto de Caminha, até às 12 MN (Milhas Náuticas), constitui motivação para a proposta de alteração da CN26409 (Fig.8). A nova proposta (Fig.9) para esta CN inclui um novo plano na gama das aproximações (1:40 000), a alteração dos limites do plano portuário atualmente existente (futuro Plano A), mantendo a escala (1:10000), focando a representação na barra e porto de Caminha, e a alteração de escala e limites do plano de Vila Praia de Âncora para 1:10 000 (futuro Plano B).

O esquema da nova CN26409 foi apresentado na última reunião bilateral, em 2019, onde também

ficou acordado o intercâmbio de dados batimétricos e cartográficos para a produção cartográfica.

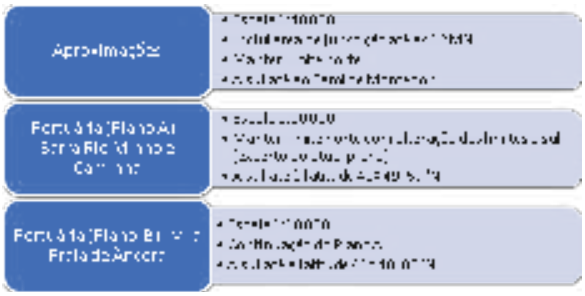


Fig. 8. Requisitos para o estabelecimento da nova proposta para a CN26409.



Fig. 9. Esquema com a proposta da nova CN26409.

No que diz respeito à cobertura CEN, uma vez que não pode haver sobreposições na mesma UB, a solução em estudo é ligeiramente diferente, assumindo-se um acordo bilateral, quanto à responsabilidade de produção CEN. Comparando as Tabelas II e IV, e considerando a Fig. 10, considera-se o seguinte: cobertura continua e adjacente na UB 3 – Costeira, conseguida com as células portuguesa PT324201 e espanhola ES30041B; na UB 4 – Aproximações equacionar aumentar a área da PT426401 "Aproximações a Viana do Castelo", para ficar adjacente à ES400417, não havendo correspondência direta com o plano da série Aproximação proposto para a CN26409, ficando o IH com a responsabilidade da produção da célula portuária idêntica à existente PT528M01, cobrindo de forma continua a área desde Caminha até Vila Praia de Âncora.

Para as novas propostas cartográficas irá ter-se em conta os últimos LTH realizados pelo IH e IHM, bem como os LH disponíveis na base de dados batimétricos do IH, a considerar para a representação do fundo marinho até às 12MN. Para o novo plano das aproximações da CN concorre a informação existente para o atual plano geral a 1:10 000, que deverá ser generalizada de forma adequada, complementada com informação em falta, e avaliada a consistência horizontal e vertical com as cartas dos fólios português e espanhol existentes.

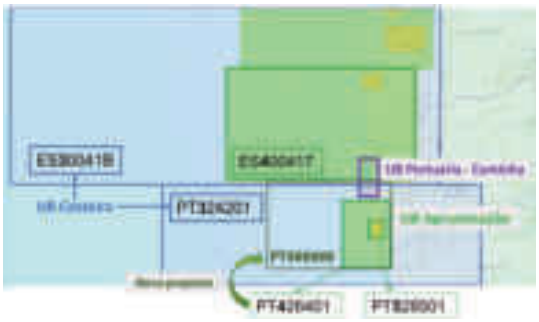


Fig. 10. Proposta de cobertura CEN.

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução cartográfica adotada para a CN considera a área representada na 1ª edição da CN26409, distribuída por dois planos Portuários (B como continuação de A), e um plano de Aproximação, permitindo manter a representação de Vila Praia de Âncora, sem perder área de representação. Para a CEN, a atual célula militar-UB5, passa para UB5, com fins comerciais, e torna-se necessário validar a extensão da UB4 Aproximação para aglutinar "Aproximações a Viana do Castelo" com as "Aproximações a Caminha".

A solução apresentada para a representação cartográfica beneficia da estreita colaboração que o IH e o IHM têm mantido, especialmente na realização de LH conjuntos, partilha de informação geográfica e definição de limites cartográficos.

REFERÊNCIAS

Comissão para a Aplicação e o Desenvolvimento da Convenção sobre a Cooperação para a Proteção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas, *Bacia Hidrográfica do Minho*, http://www.cadc-albufeira.eu/pt/cuencas-hidrograficas/cuenca-minio/, (acedido em agosto 2020).

Loureiro A. (1904-1920). Porto de Caminha. *Os portos marítimos de Portugal e ilhas adjacentes*. Volume I, Imprensa Nacional, Lisboa, 58-62.

Agência Portuguesa do Ambiente, *Plano de Gestão de Região Hidrográfica, Parte 2 – Caracterização e diagnóstico, Região Hidrográfica do Minho e Lima (RH1)*, 2016 https://apambiente.pt/_zdata/Politicas/Agua/PlaneamentoeGestao/PGRH/2016-2021/PTRH1/PGRH1_Parte2.pdf (acedido em: setembro 2020).

Carvalho E., Frade, R., *Portugal, Direção de Hidrografia*, http://purl.pt/21827, (acedido em setembro de 2020).

Rio Tejo – Um desafio à aquisição de dados e à produção cartográfica

Sanches, P. (1); Vicente, J. (2); Dias, T. (2)

(1) Instituto Hidrográfico, paula.sanches@hidrografico.pt.

(2) Instituto Hidrográfico

Resumo: O Instituto Hidrográfico (IH) é a entidade nacional responsável pela produção de cartografia náutica expressa nos fólios nacional e internacional.
Na procura e garantia de novas e melhores formas de promover a segurança na navegação e o desenvolvimento sustentável, o IH tem participado em projetos que visam a dinamização do tráfego fluvial, tendo hoje, definida uma Série Fluvial no fólio nacional.
O rio Tejo, com o seu extenso estuário sujeito a marés e a sub-bacia da Grande Lisboa fortemente artificializada, constitui um permanente desafio, sendo necessário ter em consideração as características, as metodologias de aquisição de dados, processamento e respetivos modelos, o processo cartográfico, assim como, os normativos nacionais e internacionais.
A presente comunicação, pretende dar a conhecer a situação atual, trazendo à discussão a utilização de novas metodologias para aquisição de dados, podendo constituir-se no fio condutor do planeamento da cartografia náutica e náutica fluvial do rio Tejo.

Palavras-chave: cartografia náutica, cartografia náutica fluvial.

1. INTRODUÇÃO

O IH, como entidade nacional responsável pela produção de cartografia náutica tem participado em projetos que visam a dinamização do tráfego fluvial, garantindo novas e melhores forma de promover a segurança da navegação e o desenvolvimento sustentável.
Os rios como vias fluviais – vias navegáveis interiores - são importantes vias de comunicação, utilizadas para diversos fins como atividades económicas, lúdicas de lazer e desporto, entre outras, sendo de diversos tipos os meios de transporte fluvial utilizados dependendo das características dessas vias.
A navegação em águas interiores está condicionada ao caudal, ao regime dos rios, a eventuais desníveis com serviços de eclusagem assim como à morfologia.
As recomendações nacionais e internacionais, nomeadamente a da União Europeia (EU) para a implementação de serviços de informação fluvial (RIS), a fragilidade do apoio à condução da navegação, o deficiente conhecimento, a necessidade de proteger vidas humanas e bens, bem como prevenir impactos ambientais negativos levou à identificação da necessidade de desenvolver novos produtos e/ou serviços, como são exemplo a constituição do fólio da série Fluvial pertencente ao fólio de cartografia náutica nacional e a produção de Cartografia Hidrográfica (CH) atual baseada em levantamentos de elevada resolução.
Estão implementados e já em circuito de produção a Cartografia Náutica fluvial (CNf) relativa à Via Navegável do rio Douro e do rio Guadiana, e em fase de análise e conceção a eventual implementação no rio Tejo.
O rio Tejo, com o seu extenso estuário sujeito a marés e a sub-bacia da Grande Lisboa fortemente artificializada, constitui-se como um desafio, tendo em consideração as suas características, que condicionam as metodologias de aquisição de dados e o processo cartográfico, em cumprimento dos normativos nacionais e internacionais em vigor.
A presente comunicação, pretende dar a conhecer a situação atual, trazendo à discussão a utilização de novas metodologias para aquisição de dados, podendo constituir-se no fio condutor do planeamento da cartografia náutica, CNf e da CH do rio Tejo.

2. RIO TEJO – ENQUADRAMENTO E DESCRIÇÃO GENÉRICA

O rio Tejo nasce em Espanha entrando em Portugal em Vila Velha do Ródão e na região de Lisboa e Vale do Tejo pela Barragem de Belver, desaguando no oceano Atlântico, após banhar Lisboa.
Das várias zonas, morfologicamente distintas, consideraremos o seu extenso estuário sujeito a marés que chegam até próximo de Valada, e a sub-bacia da Grande Lisboa. Os estuários são áreas onde tradicionalmente se desenvolve atividade portuária, encontrando-se associados à instalação dos principais portos, como é o caso do Tejo, acolhendo na sua envolvente, várias áreas urbanas. As suas margens encerram ainda um grande potencial como espaços de lazer e recreio, para o desenvolvimento de atividades turísticas e náuticas. Para proteção de recursos e

conservação da natureza, estão identificadas várias zonas protegidas e áreas classificadas. Em termos de biodiversidade, sendo considerado um local importante, integra a Área Protegida - Reserva Natural do Estuário do Tejo e a Rede Natura 2000.
Estamos assim perante um permanente desafio, face ao propósito cartográfico e de conhecimento daquelas zonas, para o qual concorrem um vasto conjunto de fatores (Fig.1.).

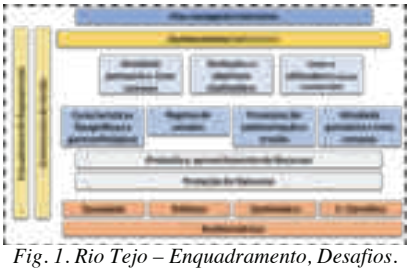


Fig. 1. Rio Tejo – Enquadramento, Desafios.

Em termos de cobertura cartográfica, a zona entre Cascais e a ponte "Marechal Carmona", que inclui a totalidade do Porto de Lisboa, é dotada de cartografia náutica, caracterizada por representar o conjunto de objetos que garantam a segurança da navegação. Na sua expressão em papel é constituída por 5 Cartas Náuticas (CN) da série "portuária" nacional (Fig.2) também pertencentes à série Internacional (cartas INT) e, na sua expressão eletrónica, Carta Eletrónica de Navegação (CEN), é constituída por 5 células da banda de utilização UB5 – Portuária.
A sua construção, no que à componente hidrográfica diz respeito, é baseada em Levantamentos Hidrográficos (LH) a feixe simples e a multifeixe executados entre os anos 80 e a atualidade, sendo os mais antigos em zonas menos criticas para a navegação.



Fig. 2. Cartografia Náutica da Série Portuária

No Alto Estuário, em particular a zona entre a ponte Marechal Carmona e a ponte das Lezírias, onde se conhece o interesse e relevância na implantação do novo Cais Fluvial da Castanheira do Ribatejo e a existência de várias infraestruturas portuárias de pequena dimensão, a navegação é maioritariamente inserida numa tipologia de atividade de "recreio", "pesca" e "marítimo-turístico" e não existe cobertura com cartografia náutica nem CNf.
Importa assim definir, nesta zona, o tipo de cartografia a produzir. Implementar um fólio de CNf em oposição à cartografia náutica da série portuária é uma hipótese a ponderar na medida em que é melhor adaptada à navegação em águas interiores e de utilização mais versátil.

3. CARTOGRAFIA NÁUTICA FLUVIAL VS CARTOGRAFIA NÁUTICA. AQUISIÇÃO DE DADOS.

A manutenção da cartografia náutica e a definição da CNf tem-se mostrado desafiante, na medida em que para além da inexistência de informação e/ou existência pouco atual, é necessário ter em consideração um conjunto variado de fatores. Se por um lado é necessário ter em conta o meio físico como as características das vias fluviais, o tipo de navegação, as infraestruturas portuárias existentes, por outro, é necessário identificar as metodologias de aquisição e processamento de dados assim como os modelos de dados e o processo cartográfico mais adequados. Paralelamente, é essencial observar os vários interessados e cumprir a legislação e os normativos nacionais e internacionais em vigor.
A implementação/construção/produção de CNf potencia assim o desenvolvimento e utilização de novos métodos e técnicas para execução de LH e, ainda, de novas capacidades noutros âmbitos.
No rio Tejo, tanto na área com cobertura de cartografia náutica como na de potencial cobertura com CNf o maior desafio prende-se com a determinação da profundidade através dos métodos clássicos (acústicos). Com estes métodos, de que é exemplo o sondador multifeixe, a cobertura batimétrica do fundo está correlacionada com a profundidade, na medida em que, a largura da faixa sondada varia, normalmente, entre três a sete vezes o valor da profundidade, conforme ilustrado na Fig. 4.

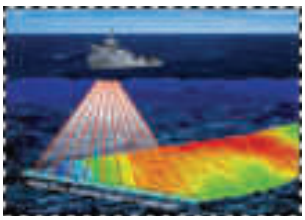


Fig. 4 - Cobertura batimétrica do fundo com um sondador multifeixe (NOAA, 2018).

Esta limitação não afetou substancialmente, por exemplo, a eficiência das sondagens dos rios Douro e Guadiana, devido à sua profundidade, largura e extensão. No entanto, no caso do rio Tejo que, apresenta um leito consideravelmente mais largo e profundidades menores, devem ser equacionadas alternativas aos métodos acústicos, em zonas menos críticas para a segurança da navegação, concorrendo para a equação o "custo/benefício", os Recursos Humanos (RH), a qualidade dos dados e as vantagens/desvantagens de cada técnica/metodologia por tipo de zona.
Das novas técnicas e metodologias, mencionam-se a título de exemplo, o LiDAR batimétrico, e a

derivação de batimetria a partir de imagem adquirida por UAV e/ou por satélite, que apesar de apresentarem vantagens em cenários como o do rio Tejo (áreas extensas e pouco profundas), encontram-se ainda limitados por alguns fatores, como no caso do LiDAR batimétrico em que a penetração do feixe laser na coluna de água depende da sua transparência, que, no caso do rio Tejo, é maioritariamente afetada pela presença de sedimentos em suspensão.

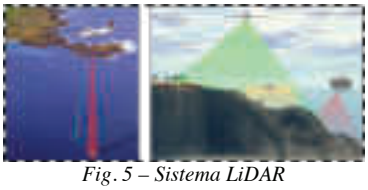


Fig. 5 – Sistema LiDAR

No que à tecnologia satélite diz respeito, o aumento dos programas de Observação da Terra (OE), têm aberto a oportunidade à utilização de dados de OE nas mais variadas áreas do conhecimento.
No IH, a utilização de metodologias alternativas às tradicionais, como as que utilizam algoritmos de derivação de batimetria por satélite (*Satellite-Derived Bathymetry* - SDB) recorrendo a imagens multiespectrais e/ou a *Synthetic Aperture Radar* (SAR) têm vindo a ser exploradas desde 2015. Com a participação no projeto H2020 *Coastal Waters Research Synergy Framework* (Co-ReSyF), o IH tem vindo a implementar e automatizar metodologias de extração de informação batimétrica a partir de imagens de satélite multiespectrais e SAR (Vilar et al., 2018 e Moura et al., 2019). No entanto, a sua utilização para derivação da batimetria encontra-se limitada pela presença de ruído nas imagens (transparência da coluna de água, nuvens, sombra, brilho solar, etc.).



Fig.6 – Exemplo da aplicação da metodologia SDB na zona da Castanheira do Ribatejo.

Entre as vantagens pode-se apontar a possibilidade de avaliação da morfologia em áreas extensas de uma forma expedita em intervalos de tempo curtos e com baixo custo associado, que poderão constituir-se como ferramenta útil tanto ao conhecimento da dinâmica como à representação de zonas menos criticas para a navegação e ao apoio ao planeamento dos LH. Em alternativa às técnicas mencionadas e com base na experiência adquirida com a produção de CNf na VND, foram identificadas situações e zonas onde é possível a utilização Modelos Digitais de Terreno (MDT), produzidos com base em levantamentos aerofotogramétricos.

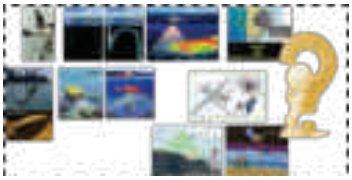


Fig. 5 – Exemplificação de técnicas/métodos.

Importa pois, explorar as novas técnicas/métodos emergentes identificando a sua aplicabilidade, em zonas menos criticas à navegação visando a atualidade da informação, cujos dados sejam recolhidos de tal forma que sirvam vários propósitos, para melhor caracterizar aquela área geográfica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O recurso a técnicas e metodologias emergentes é possível e essencial em conjunção com as tradicionais para o conhecimento integrado da área geográfica de interesse, não esquecendo os elementos que concorrem para avaliação consoante a zona é mais ou menos crítica para a navegação. Ou seja, para além de desafios técnicos, a operacionalização destas tecnologias coloca ao IH desafios de outra ordem, como: o custo de aquisição ou contratação dos equipamentos; o tempo de formação dos RH; o controlo de qualidade dos dados; a classificação dos dados considerando as especificações da nova edição da publicação S-44 da OHI. Assim, estes desafios terão que ser integrados e enfrentados em consonância com a sua aplicabilidade, aproveitamento e utilização que se pretenda fazer do rio Tejo. Para além do benefício óbvio para obtenção de melhor cartografia náutica, o beneficio direto e indireto dos LH e da produção cartográfica não são tradicionalmente reconhecidos pelo seu valor económico, pela dificuldade em o quantificar. O seu valor está dependente da especificidade das atividades económicas, recreativas e de defesa de cada estado. Existem, no entanto, argumentos qualitativos que podem suportar o reconhecimento do seu valor crítico na infraestrutura nacional, inclusive como facilitador para as diversas atividades.
"Todos os envolvidos nas diversas atividades podem beneficiar dos resultados dos levantamentos, e da cartografia oficial, seja ela a Náutica, a CNf ou a CH."

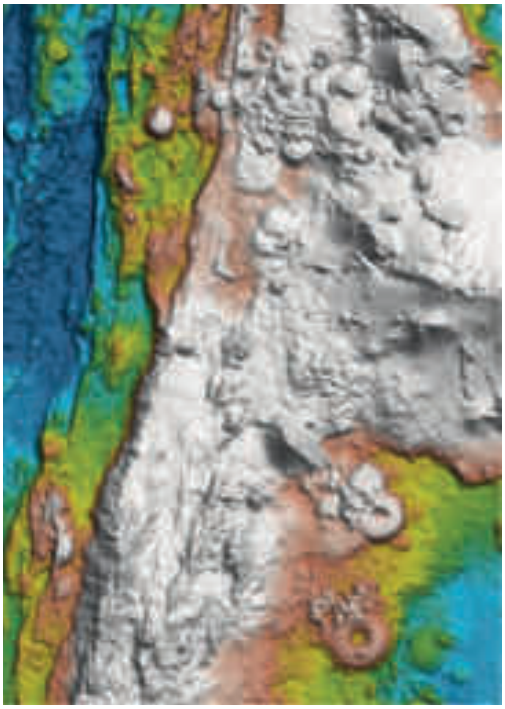
REFERÊNCIAS

Vilar, P., Moura, A., Lama, L., Pinto, J. (2018). Derivação de Batimetria a partir de Imagens Multiespectrais de Deteção Remota numa perspetiva operacional – Diferentes abordagens de modelação e de calibração. *Atas IX CNCG*.

Moura, A., Vilar. P., Lamas, L., Pinto, P., Guerreiro, R., Sanches, P. (2019). Coastal bathymetry assessment through EO data – A work in progress at Portuguese Hydrographic Institute. *ESA-Atlantic from space workshop, NOC, UK*

NAVEGAÇÃO E SERVIÇOS MARÍTIMOS

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Protótipo de um Sistema de Apoio à Decisão Colaborativo para Equipas de Navegação – Interface do Utilizador

Marques, R. (1); Conceição, V. (1, 2); Correia, A. (1)

(1) CINAV, Portuguese Naval Academy, Lisbon, Portugal. rafaela.sousa.marques@marinha.pt

(2) Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Resumo: A navegação marítima constitui uma atividade complexa, que envolve riscos para as pessoas, meio ambiente e atividade económica. As tarefas associadas à sua execução requerem bons profissionais, mas sobretudo uma Equipa de Navegação colaborativa. As tarefas das Equipas, contudo, estão cada vez mais restringidas a uma série de procedimentos preestabelecidos, sustentados em equipamentos pouco adaptados as necessidades dos utilizadores e, consequentemente, impondo-lhes uma enorme carga cognitiva. O estudo identifica uma estrutura de premissas, no campo dos fatores humanos/ organizacionais e interação homem-máquina, apresentando um sistema de apoio à decisão que inclui não só a colaboração entre indivíduos, como entre o homem e a máquina. Com o propósito de atingir os objetivos, utilizou-se uma abordagem de inovação, centrada no ser humano - *design thinking*. O estudo contribui para alertar a comunidade marítima das dificuldades e desafios que as Equipas lidam todos os dias, bem como constituir uma base para possíveis progressos.

Palavras-chave: colaboração, interação humano-computador, navegação marítima, sistema de apoio à decisão, trabalho de equipa.

1. INTRODUÇÃO

O erro humano ainda constitui a principal causa de acidentes no setor dos transportes, no entanto, análises de acidentes no domínio marítimo revelam que cerca de 80% das colisões e encalhes ocorre devido a falhas nos sistemas da ponte (Javaux et al., 2015) (International Maritime Organization, 1994). O problema do erro humano é que ele encobre, muitas vezes, múltiplas e constantes falhas (Dekker, 2002), desde questões organizacionais, a equipamentos pouco adequados às circunstâncias e ao utilizador. Além disto, o ser humano não é infalível, pelo que, é fundamental dirigir o foco para estas questões (Dekker, 2014) (Hollnagel, 2009).

A colaboração entre o homem e a máquina torna-se, assim, uma prática valiosa para o sucesso profissional e organizacional. Repare-se que a colaboração vai mais além do que uma mera cooperação (Lima, 2003), requerendo "uma maior dose de partilha e interação" (Boavida & Ponte, 2002, p. 4). O conceito de atividade conjunta (em inglês, *joint activity*) (Clark, 1996), de forma complementar, identifica condições precisas para uma equipa colaborativa.

A abordagem de Clark remete a três domínios de competência para uma equipa bem-sucedida: critérios, requisitos e coreografia. Os critérios de uma atividade conjunta assentam na pretensão dos indivíduos para trabalharem juntos, bem como na sua interdependência. Já os requisitos, por outro lado, consistem na capacidade de os membros da organização se conseguirem interpretar, na direccionalidade das suas ações e no terreno comum (em inglês, *common ground*), ou seja, a presença de um conhecimento base transversal. Por fim, a coreografia, aborda que o estágio de saída de cada uma das tarefas deve ser evidente, (garantindo que o individuo compreenda que executou a tarefa) e a importância da sinalização (*e.g.*, olhares e acenos de cabeça) entre e dentro das fases. Além disto, aborda os custos associados à coreografia: sincronização, comunicação, redireccionamento e diagnóstico.

Num ambiente natural, ou seja, onde existem estes custos, assim como, pressão de tempo, objetivos vagos, informação precária, condições dinâmicas, entre outros, também o processo de decisão não se resume ao simples processo de Simon (1960). Os tomadores de decisão, nestas circunstâncias, utilizam a sua experiência para reconhecer ações, não procuram uma solução ótima, apenas uma suficiente e, quando reconhecem um curso de ação, avaliam-no imaginado o que sucede (simulação mental) (Klein, Calderwood, & Clinton-Cirocco, 1986).

A dificuldade do tomador de decisão, desta forma, não consta na seleção da melhor alternativa, mas no conhecimento situacional (*situation awareness*) (Endsley, 1995) e no seu sentido (*sensemaking*) (Weick, 1995) e, portanto, é nestes elementos que necessita auxílio e de atividades colaborativas. Assim sendo, o estudo analisa as principais dificuldades e desafios das equipas de navegação, apresentando um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que procura apoiar a colaboração e diminuir a carga cognitiva dos seus elementos, valendo-se do potencial das equipas.

2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto consistiu no método de *design thinking*. De forma sucinta, o *design thinking* é "uma abordagem de inovação centrada no ser humano, que se baseia no *kit* de ferramentas do *designer* para integrar as

necessidades das pessoas, as possibilidades da tecnologia e os requisitos para o sucesso" (Brown, 2020). O processo do método possui cinco fases (Stanford University, 2016): (i) Empatia – consiste em colocar-se no lugar do outro, conhecer as necessidades, desejos, motivações do cliente/ utilizador; (ii) Definição – onde são interpretados e sintetizados todos os dados; (iii) Idealização – a fase de fomentar soluções; (iv) Prototipagem – onde as opções mais promissoras são "pensadas com as mãos", prototipadas, e (v) Testes - em que o grande propósito é gerar *feedback*, colocando o protótipo na frente do comprador/ utilizador.
Ainda que as fases sejam apresentadas sequencialmente, podem decorrer em paralelo, possibilitando diversas iterações (ver Figura 1).

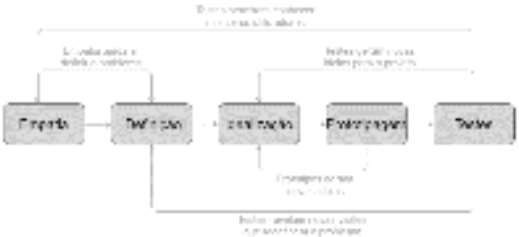


Figura 1 - Processo de design thinking
Fonte: Adaptado de (Siang & Dam, 2020)

A fase de teste é determinante para a construção de um produto que os utilizadores realmente precisam e querem, pelo que, foram utilizadas técnicas objetivas (teste de usabilidade) e prospetivas (questionário e grupo de foco). Os resultados obtidos, mais uma vez, permitiram iterar não só a solução, como cada uma das fases.

3. EQUIPA DE NAVEGAÇÃO

O primeiro estágio do método tem como propósito uma compreensão profunda da realidade, para a qual será idealizada a solução. Neste sentido, tornou-se crucial analisar não só a equipa de navegação, como o ambiente em que se insere, a Ponte.
A equipa de navegação, por definição, corresponde ao conjunto de elementos que "realiza tarefas ou ações no âmbito específico da navegação, designadamente a determinação e controlo da posição do navio, o trabalho na carta e a operação dos equipamentos de navegação" (Estado-Maior da Armada, 1999).
Sobre essa perspetiva, verificou-se que, apesar das tarefas dos elementos da equipa requererem a utilização de muitos sistemas técnicos, os elementos nem sempre os utilizam conforme estabelecido nos procedimentos operacionais.
Por outro lado, as interfaces dos equipamentos e sistemas existentes são totalmente diferentes entre si, pouco direcionadas aos utilizadores, com níveis de flexibilidade muito insuficientes, com muita informação desnecessária e de difícil discriminação, causando falhas de perceção e, consequentemente conhecimento situacional deficiente.
Ainda assim, estas lacunas são, costantemente, apelidadas como erro do operador. Acrescenta-se ainda, o facto do ser humano, do ponto de vista do *designer*, ser visto como ineficiente e não confiável, tentando eliminá-lo, mas atribui-lhe tarefas que não consegue automatizar (Bainbridge, 1983).
No que se refere a questões organizacionias, constata-se um excesso de normas, regras e procedimentos que, embora garanta vantagens (*e.g.,* clareza organizacional), gera múltiplos malefícios como, por exemplo, individualidade, inércia, aversão ao risco e reduzida oportunidade de gestão.

4. PROJETO

Nesta fase e, ponderadas diversas alternativas, determinou-se que a melhor solução consistia no desenvolvimento de um SAD que apoiasse o mapa mental de cada um dos elementos, não obstante, permitisse partilhar informação, quer entre indivíduos como equipamentos. Assim sendo, elaborou-se um protótipo de interface, de média fidelidade.
Neste seguimento, definiram-se requisitos gerais, transversais a qualquer utilizador e requisitos específicos para cada um dos tipos de utilizador (Oficial Navegador, Adjunto ao Oficial Navegador, Marcador e Operador Radar). Ainda que distintas, as interfaces mantêm elementos comuns, nomeadamente, informações cruciais à segurança do navio: distância e tempo para o momento de guinada e fim do planeamento, proa, rumo, velocidade verdadeira e de superfície, informação meteorológica e, ainda, um friso para informação essencial, como avisos ou alarmes (ver Figura 2, 3, 4 e 5).
Além destes elementos, todas as janelas integram uma lista de ícones, isto é, funcionalidades pertinentes à sua função, um espaço para visualização destas janelas individuais, sem interferir com o restante conteúdo, e uma janela sensível a situação, que surge sem controlo do utilizador.

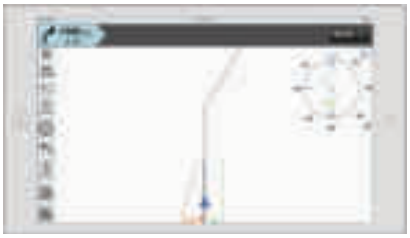


Figura 2- Janela Base (Oficial Navegador)

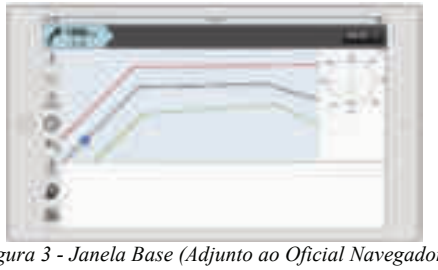


Figura 3 - Janela Base (Adjunto ao Oficial Navegador)



Figura 4 - Janela Base (Marcador)

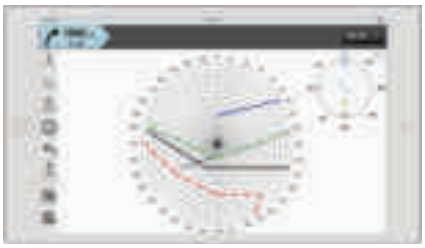


Figura 5 - Janela Base (Operador RADAR)

No que se refere às janelas individuais, foram elaboradas 12, sendo que, naturalmente, nenhuma das interfaces as incorpora na totalidade. Esta estrutura permite, além da coerência entre dispositivos, a criação de novas interfaces, para diferentes tipos de utilizadores, de forma acessível. De seguida, apresentam-se três destas funcionalidades:

1) O ícone de visualização de azimutes (ver Figura 6) permite ao utilizador aceder a uma janela que confronta os azimutes de controlo previstos com os retirados pelos Marcadores no exato momento (cor mais viva).



Figura 6 - Janela individual - Visualização de Azimutes

2) A janela representada na Figura 7, em primeiro lugar, apresenta o valor de águas livres expectável em qualquer momento do planeamento, assim como, a sua evolução. Depois, através de um clique, oferece a possibilidade ao utilizador de esclarecer o referencial mais adequado à situação.

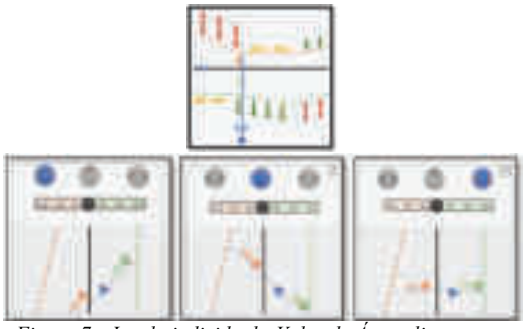


Figura 7 - Janela individual - Valor de Águas livres

3) O terceiro ícone apresentado tem por objetivo coordenar os Marcadores, de forma mais eficiente. A janela em causa, apresenta as marcas, atribui cada uma ao respetivo Marcador e transmite a hora exata da tiragem. No exemplo, exposto na Figura 8, o Adjunto ao Oficial Navegador solicitou ao Marcador de Estibordo, azimute à marca Alpha e Charlie (nesta ordem), e ao Marcador de Bombordo, azimute à marca Bravo, às 12:30:50, restando 3 segundos.



Figura 8 - Janela Individual - Coordenação de Marcadores

5. RESULTADOS

A última fase do projeto, fase de teste, revelou-se uma ótima oportunidade para compreender o utilizador, descobrir oportunidades, gerar novos requisitos, identificar novos problemas e, como resultado, iterar o protótipo.

Neste seguimento, o teste de usabilidade, em particular, permitiu melhorar inúmeras questões a nível de *design* da interface do utilizador. As principais dificuldades levantadas a este nível prenderam-se na tarefa de registo de dados, onde foi considerada a possibilidade do SAD incluir um software *Speech-to-Text*, e na correlação ícone-funcionalidade, onde se procurou utilizar símbolos familiares (arbitrários) e ícones de referência.

Sob outra perspetiva, também os grupos de foco se revelaram cruciais para o desenvolvimento do SAD, mas neste caso ao nível de utilidade e desejos dos indivíduos, permitindo não só a adaptação de determinadas funcionalidades já consideradas, como a inserção de novas.

O resultado destas técnicas reflete-se, paralelamente, também nos questionários, onde os utilizadores consideram que o SAD é de fácil aprendizagem, agradável e inovador (ver Figura 6).

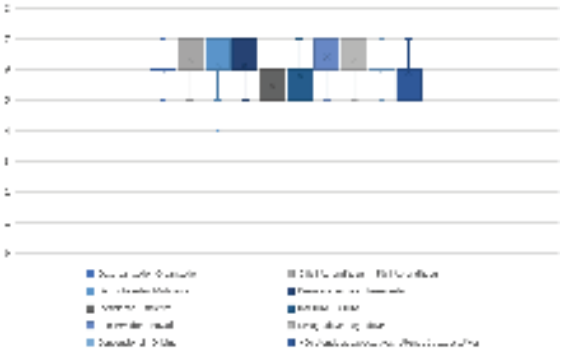


Figura 9 - Resultados dos Questionários

6. CONCLUSÃO

Na fase inicial do estudo foi possível constatar que as dificuldades atuais das equipas de navegação, assentam em quatro macro áreas: o ser humano,

enquanto ser particular e membro da equipa, procedimentos *standard*, equipamentos e sistemas e, ainda, a interação humano-computador.
Aprofundadas estas áreas e os problemas associados, procurou-se desenvolver uma solução que aumentasse o trabalho colaborativo e o conhecimento situacional das equipas, através do seu grande potencial (*e.g.*, conhecimento base comum e responsabilidade coletiva enraizada). Ponderadas as hipóteses, decidiu-se desenvolver um SAD capaz de partilhar informação entre os elementos da equipa, entre os elementos e os equipamentos já existentes na Ponte e, ainda, entre os próprios equipamentos.
No processo de validação do protótipo, fase de teste, verifica-se que todos os elementos gostariam de usar o SAD, afirmando que teriam maior autonomia e, ao mesmo tempo, dariam um maior contributo à equipa.
Concluindo, espera-se que a presente pesquisa contribua para alertar a comunidade marítima das dificuldades e desafios que as equipas lidam todos os dias. Além disto e, uma vez que o método utilizado representa as necessidades e ambições dos utilizadores, pretende-se constituir uma base para possíveis soluções.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Marinha Portuguesa e ao Centro de Investigação Naval por promoverem e apoiarem o estudo, assim como a todos os participantes que permitiram a prossecução do trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, *19*(6), 775–779. https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8

Boavida, A. M., & Ponte, J. P. (2002). *Investigação colaborativa: Potencialidades e problemas* (p. 4). p. 4. Lisboa: GTI.

Brown, T. (2020). Design Thinking Defined. Retrieved April 23, 2020, from IDEO DESIGNTHINKING website: https://designthinking.ideo.com/

Clark, H. H. (1996). *Using Language*. Retrieved from https://books.google.pt/books?id=DiWBGOP-YnoC

Dekker, S. (2002). *The Field Guide to Human Error Investigations*. https://doi.org/10.4324/9781315202778

Dekker, S. (2014). *Safety Differently: Human Factors For A New Era* (2nd ed.). Apple Academic Press.

Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, *37*(1), 32–64. https://doi.org/10.1518/001872095779049543

Estado-Maior da Armada. (1999). *Regulamento Interno de Forças e Unidades Navais (RIFUN)*. Lisboa.

Hollnagel, E. (2009). *The ETTO Principle: Efficiency - Thoroughness Trade-Off: Why Things That Go Right Sometimes Go Wrong*. USA: Ashgate Publishing Company.

International Maritime Organization. (1994). World maritime day 1994: better standards, training and certification—IMO's response to human error. *IMO News*.

Javaux, D., Luedtke, A., Adami, E., Allen, P., Denker, C., Mikkelsen, T. G., … Vroonen, G. (2015). Model-based Adaptive Bridge Design in the Maritime Domain. The CASCADe Project. *Procedia Manufacturing*, *3*, 4557–4564. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.472

Klein, G., Calderwood, R., & Clinton-Cirocco, A. (1986). Rapid decision making on the fire ground. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *30*(6), 576–586.

Lima, J. Á. (2003). *As Culturas Colaborativas nas Escolas*. Porto Editora.

Siang, T. Y., & Dam, R. F. (2020). 5 Stages in the Design Thinking Process.

Simon, H. A. (1960). *The New Science of Management Decision*. Retrieved from https://books.google.pt/books?id=nktqAAAAMAAJ

Stanford University. (2016). An Introduction to Design Thinking - Process Guide. *Institute of Design at Stanford*, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6182-7_1

Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in Organizations*. Retrieved from https://books.google.pt/books?id=nz1RT-xskeoC

Behaviour of Moored Ships in Azorean Ports during Hurricanes Lorenzo and Elsa

Pinheiro, L. (1); Santos, M. I. (2); Fortes, C. J. E. M. (1); Zozimo, A. C. (1)

(1) National Laboratory for Civil Engineering, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisbon, Portugal. lpinheiro@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, aczozimo@lnec.pt
(2) ECOMARPORT project, Gaspar Frutuoso Foundation – Univ. of the Azores, Ponta Delgada, São Miguel, 9500-321 São Miguel, Azores. misantos@lnec.pt

Abstract: This work presents the results of numerical simulations of two ferry ships moored inside two ports of Pico's Island: São Roque and Madalena, during the recent passage of two major storms in the Northern Atlantic in 2019, namely Hurricane Lorenzo, 2-5 October and the Elsa depression, 19-22 December. Within the scope of the ECOMARPORT project, an alert system for the risks of moored ships in ports is under development. This system allows a 72-hour forecast of the effects of atmospheric and wave conditions in the behaviour of moored ships, more specifically, their movements and forces in the mooring system. The comparison of these results with the safety and operational limits of the port terminal makes it possible to assess the risk and take preventive measures. The results obtained in each of the ports allows to compare the effectiveness of the proposed mooring.

Key words: HIDRALERTA, Lajes das Flores, Lorenzo, overtopping, warning system.

1. INTRODUCTION

The risks associated with mooring of ships are a major concern for port and maritime authorities. Sea waves and extreme weather conditions can lead to excessive movements of vessels and mooring loads. Usually, port activities such as ships' approach manoeuvres and loading/unloading operations, are conditioned or suspended based solely on weather or wave forecasts, causing large economic losses. However, bad weather conditions could be managed with an appropriate or reinforced mooring arrangement if their effects on the ships could be forecasted as well. A correct risk assessment for moored ships must be based on the movements of the ship and on the mooring loads, taking into account all of the moored ship's system. SWAMS ALERT (Pinheiro et al. 2018) is as risk forecast and management system for the safety of transiting ships and moored ships in ports and harbors. The port authorities of the Azores islands, Portos dos Açores, SA, identified the need for such a system and under the scope of ECOMARPORT project, teamed up with the university of Azores and LNEC for its development for the ports of S. Roque do Pico, Madalena do Pico and Praia da Vitória.

This paper presents the numerical simulations of two ferry ships moored inside two ports of Pico's Island: São Roque and Madalena, during the recent passage of two major storms in the Northern Atlantic in 2019, namely Hurricane Lorenzo, 2-5 October and the Elsa depression, 19-22 December.

2. HURRICANE LORENZO & ELSA DEPRESSION

Azores have been more and more frequently affected by Atlantic storms each year, causing growing concerns for ports and coastal communities.

Hurricane Lorenzo was regarded as the strongest storm to hit the Azores islands in the last 20 years (hurricane Category 2 to 1), breaking records as the most north-easterly Category 5 storm ever observed in the North Atlantic basin. Lorenzo developed from a tropical storm that moved off the west coast of Africa on September 22, growing larger over the course of its development. The storm continued to intensify and reached its initial peak of intensity with maximum sustained winds of 230 km/h early on September 27. Lorenzo reached the western Azores islands on October 2, passing just west of Flores island between 4:00 and 4:30 a.m. as a Category 2 to 1 hurricane, and brought high winds of about 163 km/h, pounding surf and storm surge to the islands, reaching significant wave heights of 15 m, coming mainly from the southwest. Over 171 incidents were reported in all the islands, causing damage costs of around 330 million euros. The western and central groups were the most affected ones,

Later on the same year, Elsa depression passed by the Azorean archipelago between 19-22 December, being categorized as a tropical depression. The maritime agitation was characterized by waves of significant height up to 10 meters. Wind speeds about 75 km/h and gusts above 90 km/h. Over 37 incidents were reported in all the islands, causing some minor damage costs.

3. NUMERICAL SIMULATIONS

3.1 Test case

The test case application here presented is a ferry passenger ship, moored whether at the S. Roque do Pico or at Madalena do Pico ports, see Fig. 1.

The port of S. Roque do Pico is located on the North coast of Pico, while the port of Madalena is located on

the East coast near the small channel between Pico and Faial Islands.
São Roque port is sheltered from N and NE wave agitation by a 230 m long breakwater featuring a vertical 150 m long dock and a Ro-Ro quay for ferries, Fig. 2.
Madalena port is sheltered from SE and NE wave agitation by two breakwaters featuring a double vertical dock and two Ro-Ro quay for ferries, see Fig. 1.



Figure 1. Aerial view of S. Roque do Pico and Madalena do Pico Ports.

3.2 Wave characteristics

In order to properly characterize sea-waves during storm events, the system relies on suitable numerical models to simulate the wave propagation around the islands and into the ports.
Firstly, a third generation ocean wave prediction model WAM, (Hasselman, 1988) can be used to estimate the sea wave characteristics based on the known wind field (which can be forecasted or hindcasted). In this work the forecast from ECMWF center (Persson A. 2001) was used, see Fig. 2.
Wind data and sea level of astronomical tide are obtained from NAVGEM, (Whitcomb, 2012) and XTide, (Flater, 2007) models, respectively.
This wave-wind-tide data feeds a nonlinear spectral wave generation and propagation model, SWAN, (Booij *et al.*, 1999) on two nested grids covering the central group islands and the nearshore area of both ports. SWAN is used to evaluate sea-wave characteristics, such as the significant wave height (Hs), wave period (average, Tm, or peak, Tp) and average direction (θm) - along its propagation from offshore up to coastal and port areas, Fig. 3.
Finally, a linear wave propagation model for sheltered areas DREAMS (Fortes, 2002) is used to propagate those parameters inside the port and near the mooring location, Fig. 4.
During Lorenzo hurricane waves approached the central group with significant wave heights of more than 11m from the SW quadrant, while Elsa storm hit the central group from W with significant wave heights around 8 to 9 m. This leads to different wave characteristics hitting both ports. While S. Roque port was mostly affected by Lorenzo, Madalena port suffered almost equally high significant wave heights and wave periods for both storms.

3.3 Moored ship behaviour

Excessive moored ship motions, although restricted by the mooring system, can lead to interruption of loading and unloading operations as well as to increased risk of rupture of a mooring system element (mooring line or fender) or ship collision with port infrastructure.

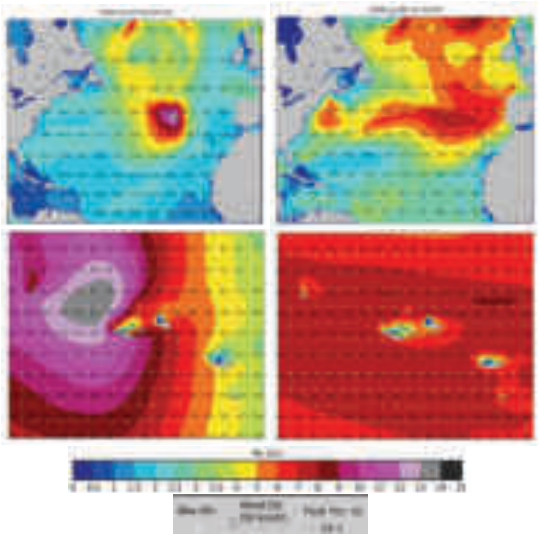


Figure 2. WAM forecast for Lorenzo hurricane (right) and Elsa storm (left).

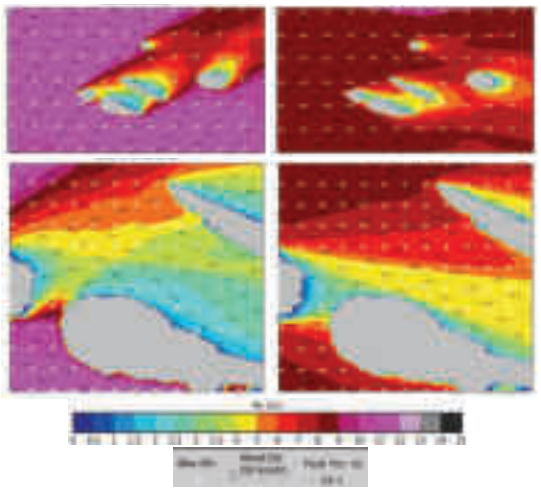


Figure 3. SWAN model's results for Lorenzo hurricane (right) and Elsa storm (left).

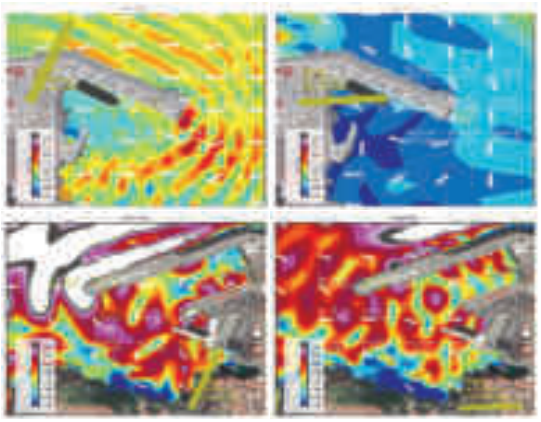


Figure 4. DREAMS model's results at S. Roque do Pico Port (top) and Madalena do Pico Port (bottom), for Lorenzo hurricane (right) and Elsa storm (left).

The determination of the movements and mooring forces of a ship moored to a berth subjected to incident sea-waves and wind is performed using the numerical package MOORNAV, Santos (1994). This package is

made of two numerical models and a set of routines that makes the connection between them:

- WAMIT, Korsemeyer et al. (1988), which solves, in the frequency domain, radiation and diffraction problems of the interaction between a free-floating body and the sea waves incident on it;
- BAS, Mynett et al. (1985), which assembles and solves, in the time domain, the equations of motion of a ship moored at the berth, by considering the time series of the forces due to the incident waves on the ship, the impulse response function of the ship and the constitutive relations of mooring system components (mooring lines and fenders).



Figure 5. Gilberto Mariano Ferry Ship. Moored at S. Roque do Pico Port. Panelling of the ship's hull.

For the application of WAMIT and BAS models, it is necessary to define the characteristics of the vessel and mooring system. This methodology is described in Pinheiro et al. (2015).

The studied ship is a ferry ship with a displaced volume of 7480 m3, a length in the floating area of 37.4 m, a beam of 10 m and a draft of 3.4 m. The hull form was discretized with 3464 rectangular and triangular panels as shown in Fig.5. Figs. 6 e 7 shows the mooring system configurations in which the ship is moored to the berth by 6 mooring lines. The pneumatic fenders prevent the contact between the ship and the quay. The same constitutive relations were considered for all mooring lines: linear range from 0 kN to 650 kN maximum load, which corresponds to an elongation of 16%. The constitutive relation for the fenders is also linear with a maximum compression force 880 kN for a deflection of 0.4 m.

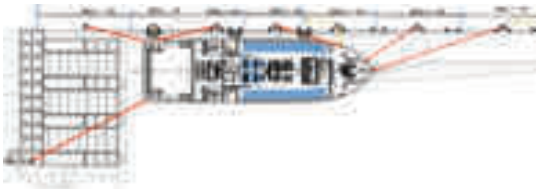


Figure 6. Mooring layout at S. Roque do Pico Port.



Figure 7. Mooring layout at Madalena do Pico Port

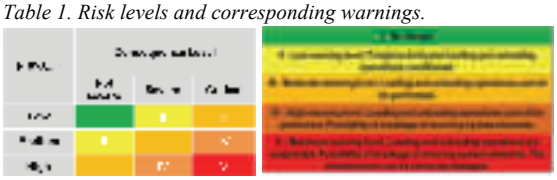
The thresholds for the allowable movements are set based on existing recommendations (Elzinga *et al.*, 1992 OCIMF, 1992, PIANC 1995 PIANC 1995 PIANC, 2012), which take into account the nature of the activities, the characteristics of the ship and the need to ensure the safety of people and infrastructures. The consequences of exceeding those thresholds dictates the nature of the the imposed limits:

- operational limits, above which the cargo handling is conditioned or even impossible;
- safety limits, above which there is a risk to people, property or the structures.

In order to determine the probability of exceedance of these thresholds a time series analysis is performed on each of the time series obtained from the simulation models, namely, six degrees of freedom movement amplitudes, six degrees of freedom movement velocities, mooring lines forces and fenders forces. Each time series undergoes a Fourier transform and a power density spectrum is obtained. From this spectrum, statistical information can be derived from spectral moments.

The exceedance probability is ranked as Low (P<0.1%), Medium (P<10%), High (P>10%). The result of multiplying consequence levels by exceedance levels leads to a risk level table, Table 1, for the forces in the mooring lines. Based on risk levels, warnings can be issued.

Table 1. Risk levels and corresponding warnings.



Figs. 8 and 9 shows the maximum force in each mooring line for both ports moorings and both storms. One can see that both Hurricane Lorenzo and Elsa storm had a strong impact on the moored ferry at Madalena port. For both storms, waves of about 1,5m to 2,5m of significant wave height with high periods were hitting the ship, alongside high winds not favourable to the moorings, generating level Five maximum warning. For the Madalena port, placing the ship on the other side of the quay would have been helpful in reducing mooring lines forces.

On the other hand, São Roque is more naturally protected from S and W storms and benefitted from low period waves during Lorenzo. During Lorenzo storm, one factor that helped at S. Roque port was the fact that wave periods decreased when reached the port. The wind direction is also an important factor to consider when evaluating mooring forces. During Lorenzo, S and SW winds helped keep the ship close to dock, minimizing mooring forces, with a level III moderate warning. The Elsa storm generated a Level II low warning.

An easy way to avoid emergency situations regarding cable breaks is to reinforce the mooring lines identified with high risk levels with additional cables, doubling their resistance.

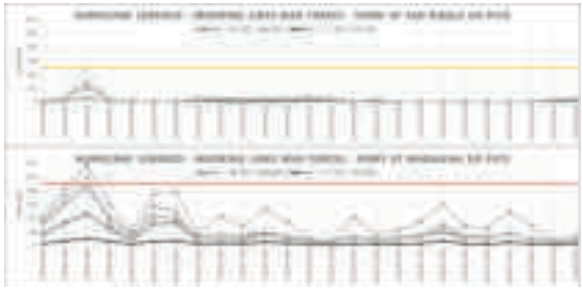


Figure 8. Mooring lines forces during hurricane Lorenzo.

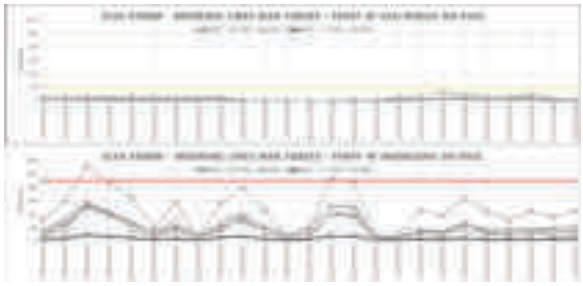


Figure 9. Mooring lines forces during Elsa storm.

4. CONCLUSIONS

The availability of sea-wave forecasts offshore combined with the use of adequate numerical models for sea-wave propagation can produce daily forecasts of potentially hazardous sea-wave effects in moored ships and port activities. This is a major change with relation to the usual information systems for the safety of port operations that are based solely on sea-wave characteristics (wave height and wave period).

With this purpose a new alert system was set-up, SWAMS ALERT. This system follows a concept that is fully customizable to the requirements of any given port and ship.

The illustrated case study on the port area of S. Roque and Madalena do Pico showcased the outputs of such a system and the issuing of warnings.

The system has the potential to be continuously optimised. Every event will serve as a learning experience and the recorded data can be used to improve forecasting models, adjust sensor positioning and provide insight on the causes, evolution and frequency of extreme weather events.

Acknowledgements

The authors thank the European Commission's funding through project PO INTERREG MAC 2014-2020 – ECOMARPORT, FCT project TO-Sealert: Early warning system, emergency planning and risk management for wave overtopping and flooding in coastal and port areas, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 and BLUESAFEPORT project, funded by the Portuguese Republic through "Fundo Azul" program.

The authors also thank the collaboration of local authorities (Municipality of S Roque do Pico, Azores Ports).

REFERENCES

Booij, N.; Ris, R.C. & Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geog. Res.*, C4, 104, 7649-7666.

Elzinga, T., Iribarren, J. R., Jensen O. J., 1992, Movements of moored ships in harbors, Proc. 23rd International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 3216-3229.

Flater (2007) Tidal Analysis and Prediction. NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3, July 2007.

Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*. PhD Thesis, IST-UL.

Korsemeyer F.T., Lee C.-H., Newman J.N., Sclavounos P.D., 1988, The analysis of wave effects on tension-leg platforms, 7th International Conf. Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Houston, Texas, pp.1-14.

Mynett, A.E., Keunig, P.J.,Vis, F.C., 1985, The dynamic behaviour of moored vessels inside a harbour configuration, Int. Conf. on Numerical Modelling of Ports and Harbours, Birmingham, England: 23-25 April 1985. Cranfield: BHRA, The Fluid Engineering Centre.

OCIMF, 1992, Mooring equipment guidelines, Witherby e Co. Ltd.

Persson, A. (2001). *User Guide to ECMWF Forecast Products*. ECMWF.

PIANC, 1995, Criteria for movements of moored ships in harbors, Technical report Permanent International Association of Navigation Congresses PIANC Supp.to bulletin no. 88.

PIANC. 2012 Guidelines for berthing structures related to thrusters, PIANC, Brussels, Belgium.

Pinheiro, L. V.; Fortes, C. J. E. M.; Santos, J. A. (2018) Risk Analysis and Management of Moored Ships in Ports. In Proc. 37th Int. Conf. Ocean, Off. Arctic Eng. OMAE2018, n.78396.

Pinheiro, L.V., Fortes, C.J.E.M., Abecasis Jalles, B.M, Santos, J.A., 2015, Simulation of wave action on a moored container carrier inside Sines' Harbour. Maritime Technology and Engineering – Guedes Soares & Santos (Eds) Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02727-5.

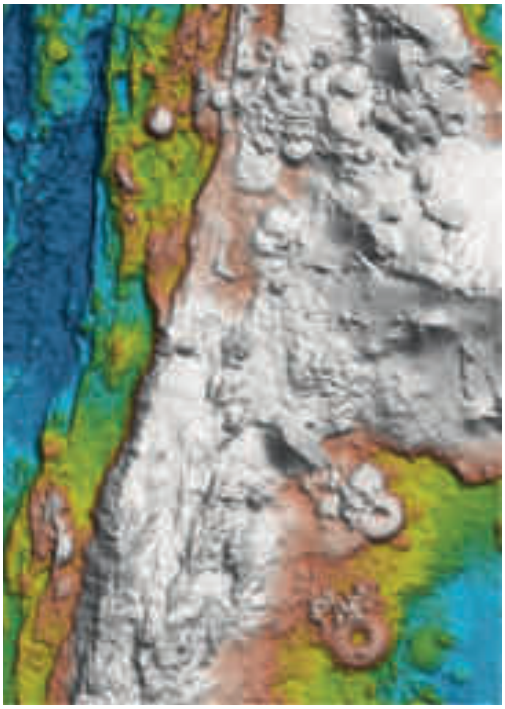
Santos, J.A., 1994, MOORNAV – Numerical model for the behaviour of moored ships, Final report, Lisbon: Report 3/94-B, Proj NATO PO-Waves.

WAMDI Group (1988). The WAM Model - A third generation ocean wave prediction model. J. Physical Oceanography 18, 1775-1810.

Whitcomb, T., 2012, Navy global forecast system, NAVGEM: Distribution and user support, In: Proceedings of the 2nd Scientific Workshop on ONR DRI: Unified Parameterization for Extended Range Prediction.

OCEANOGRAFIA

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



SAR observations of internal solitary waves off the Portuguese coast: nonlinear interactions

Magalhaes, J. M. (1); Pires, A. C. (2); Silva, J. C. B. da (1); Oliveira, P. B. (3)

(1) Department of Geoscience, Environment and Spatial Planning (DGAOT), Faculty of Sciences, University of Porto, Porto, Portugal. Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research (CIIMAR), Matosinhos, Portugal. Corresponding author: J. M. Magalhaes (jorge.magalhaes@fc.up.pt).

(2) MARE – Marine and Environmental Sciences Centre, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal.

(3) IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Av. Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165, Lisboa, Portugal.

Abstract: Internal solitary waves (ISWs) off the western Portuguese coast (close to 40°N) are observed in Synthetic Aperture Radar (SAR) to propagate onshore between two large submarine canyons (Aveiro to the north and Nazaré to the south). A comprehensive dataset using Sentinel-1 SAR images (between May and October 2018) reveals that three distinct sets of ISWs propagating to the southeast, east, and northeast are frequently observed to intersect approximately at mid-shelf depths (around 100 m). Their propagation paths originates there a naturally-occurring interaction hotspot for ISWs. The SAR record confirms a series of wave-wave interactions, amongst which at least two Mach-stem type interactions were observed during the study period. An ISW energy proxy was estimated based on the SAR backscattered intensities, which is in agreement with other studies, and shows that Mach-stem interactions may yield energy proxies greater than those of the linear superposition of the individual waves.

Keywords: internal solitary waves, nonlinear interactions, Portuguese coast, SAR.

1. INTRODUCTION

Internal Solitary Waves (ISWs) are a common feature in the ocean and usually result from the interaction between the barotropic tide and steep bottom bathymetry. They represent an important energy transfer mechanism from the large-scale tides to smaller-scale turbulence and vertical mixing, and have important implications in a wide range of ocean sciences and coastal dynamics. For instance, they play a key role in primary production by affecting the exchange of heat, nutrients, and other properties between the shelf and the open ocean (Shroyer et al., 2010; Tian et al., 2019). They also trigger bottom sediment re-suspension as they propagate over the shelf (Quaresma et al., 2007).

Interactions between ISWs are frequently observed in nature, especially where multiple generation sources occur in length scales comparable with the waves propagation paths. The interaction nature of ISWs is hard to document with in situ measurements, which undersample the waves' time and spatial scales. On the other hand, they are especially well observed in satellite imagery, which conveys the waves' two-dimensional horizontal structure along multiple wavelengths. Even so, up to date, they are mostly documented either theoretically or in laboratory experiments (see e.g. discussions in Wang & Pawlowicz, 2012), rather than in the ocean or coastal environments. These interactions between ISWs are likely to play an important role in a series of ocean processes, especially since they can lead to amplitudes (and hence wave energies within the waves' interacting sections) much higher than those of the original waves – as in the case of Mach-stem events (Wang & Pawlowicz, 2012). Therefore, the imaging capabilities of satellite remote sensing – which can survey large coastal areas with sufficiently high repetition rates – may provide valuable insights into ISW interactions and important implications thereof.

Coastal environments offer natural hotspots for ISW interactions, since the shelf-break and other bathymetry features provide generation sources with propagation geometries that often intersect in their onshore propagation. For instance, the Portuguese coast is a known ISW hotspot (see e.g. Jeans & Sherwin, 2001; da Silva et al., 2007; Quaresma et al., 2007; Magalhaes & Da Silva, 2012; Muacho et al., 2013). However, in this study, previously undocumented ISWs are now shown to propagate between two large submarine canyons (Aveiro and Nazaré canyons, see Fig. 1 for locations). This location offers the prospect of high-energy interactions, and we explore here the capabilities of Synthetic Aperture Radars (SARs) to readily identify privileged areas for wave-wave interactions.

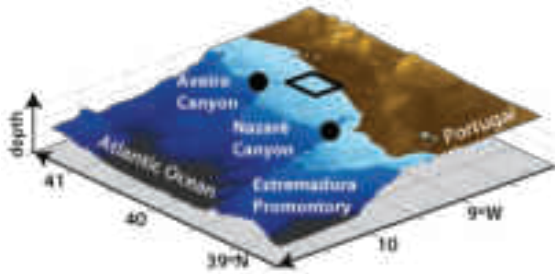


Fig. 1. Study region off the Portuguese coast between the Aveiro and Nazaré canyons (black dots). For reference, the area covered by the SAR image presented in Fig. 3 is depicted in a black frame over shelf and between the two canyons.

2. ISWs OBSERVED FROM SAR

SARs are commonly used to study ISWs. They detect their sea surface signatures, which consist of roughness patterns resulting essentially from the hydrodynamic modulation of Bragg waves by surface current gradients and wave damping due to surface films (for more details see e.g. Alpers, 1985, and da Silva et al., 1998). In this study we use a collection of SAR images to document, for the first time, the two-dimensional horizontal structure of the ISWs fields propagating onshore between the Aveiro and Nazaré canyons (see Fig. 1). A survey was made using all Sentinel-1 images for the extended summer of 2018 (i.e. May to October). These were visually inspected for the presence of ISWs, from which a representative 32-image dataset was carefully selected to include all months and wind regimes, as well as unbiased tidal phases and amplitudes.

ISW packets propagating over the shelf typically leave a characteristic sea surface signature in the SAR backscatter, which usually is made of a series of bright and dark bands in an otherwise nominal background (as in Fig. 3, for more details see e.g. Alpers, 1985, and da Silva et al., 1998). The strongest ISW features in the 32-image dataset allowed the identification of over 1000 ISW packets, whose leading waves are shown in Fig. 2 for three main directions of propagation: southeastward (SE), eastward (E) and northeastward (NE). These ISWs have similar horizontal length scales (i.e. along-crest lengths and characteristic widths) to those documented in Magalhaes and Da Silva (2012, see their Fig. 4) off the Estremadura Promontory (see Fig. 1 for location) – i.e. along-crest lengths between 5 and 20 km and characteristic widths from 200 to 500 m. Note that, ISWs refract and align with shallow bathymetry, meaning that they will propagate onshore perpendicularly to the coast. This is why there are more eastward ISWs (in green in Fig. 2) than in any other direction, especially within the shallower isobaths.

These results suggest that in general the waves will be free to interact in mid-shelf depths (approximately halfway along their propagation paths – see Fig. 2), at least a tidal cycle after their generation and before their dissipation stages. Ultimately, this means that ISW interactions in this particular case may take place with fully developed waves.

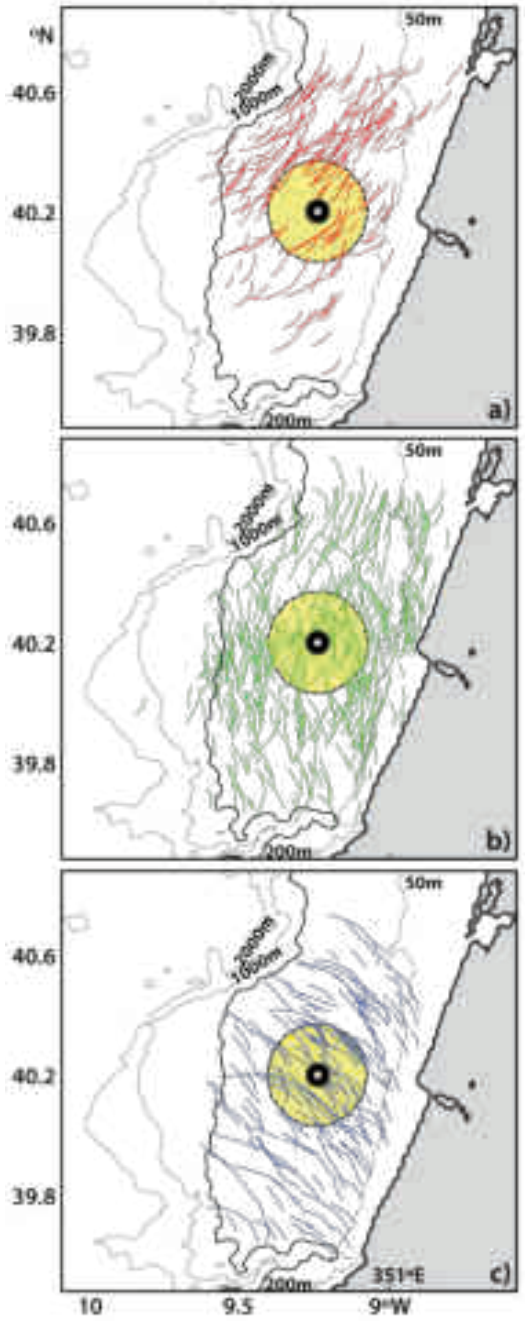


Fig. 2. Composite maps showing ISW packets identified in the SAR (leading waves only). (a) ISWs propagating towards the southeast, (b) east, (c) and northeast. For reference, a yellow circle is shown as representative of the waves' halfway propagation path (diameter of approximately an internal tide wavelength of approximately 30 km).

To explore this possibility, the yellow region in Fig. 2 represents an area where wave-wave interactions are likely to occur, when considering the three main directions of propagation, and how these intersect over the mid-shelf. The dotted circle is drawn to have a diameter of approximately an internal tide wavelength (around 30 km), and marks the waves' halfway propagation path (as seen in the SAR).

Therefore we select this area (inside the dotted circle) as an interaction hotspot to be studied in more detail in the SAR. We also note in passing, that in this particular spot, water depths are around 100 meters, typical thermocline depths (in the summer) range roughly between 10 to 20 meters deep, and ISW packets are observed in the SAR to have nominal inter-packet distances of about 20 km (which translate to propagation speeds close to 0.4 m/s).

3. ISW-ISW INTERACTIONS

Fig. 3 shows an interaction event (see Fig. 1 for location) in which a SE ISW interacts with a NE ISW, and the resulting propagation direction (of a new wave front) is close to E. Note that, in this case the surface signature in the SAR backscatter is very similar to the one documented in Wang and Pawlowicz (2012, see their Fig. 8), in which constructive interference is observed in the form of a Mach-stem.

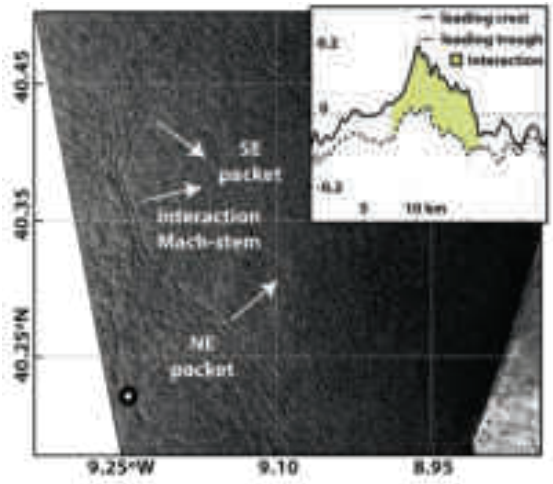


Fig. 3. Subset from a SAR acquisition dated July 20th, 2018, at 18:27 UTC (cf. Fig. 1), showing an interaction between two ISWs. Relative intensities for the leading ISW are shown in the inset in the upper right corner.

According to weakly non-linear theory, an interaction between two ISWs may result in a third wave with an amplitude increase up to four times the initial wave amplitudes (Wang and Pawlowicz, 2012). In Fig. 3, the SAR relative intensities also show an increase in the along-crest direction matching the Mach-stem interaction pattern – as seen in the inset in the top-right corner for the leading ISW.

From the individual ISWs it is possible to retrieve an energy proxy (E*) using the backscattered intensities measured in the SAR. The methodology is well established (see e.g. Magalhaes and da Silva, 2012) and essentially follows from that in surface waves, and it is assumed that the energy in a single ISW depends mostly on its amplitude – but also on the waves' horizontal dimensions (i.e. wavelength and the along-crest length). Instead, of amplitude, however, the SAR relies in the ISWs relative changes in the sea surface roughness. Presently, there is no known quantitative relation between ISW amplitudes and their *strength* in the SAR. Qualitatively, nonetheless, stronger waves will of course induce stronger sea surface signatures, meaning that the SAR amplitudes may be used for a proxy of their (physical) energy.

Between May and October (2018) and for the dotted circle in Fig. 2, patterns similar to those in Fig. 3 are observed by SAR in at least two distinct occasions (shown in https://odl.bzh/EtCQ-Ye4 for the case in Fig. 4 and in https://odl.bzh/WmqzGUR1at 9.08ºW, 40.46ºN for another case six days later). The energy proxies in these two cases are shown in Fig. 4 together with those from the individual ISWs observed in SAR inside the dotted black circle shown in Fig. 2. These results show that E* in interacting waves is distinctively higher comparing with the waves typical background. Note that, both events yield an increase in E* by more than 2-fold, when comparing with typical energies in individual waves (i.e. without wave-wave interactions).

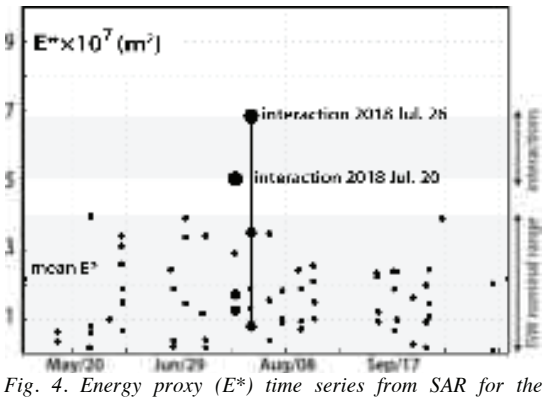


Fig. 4. Energy proxy (E) time series from SAR for the interaction hotspot highlighted in a dotted circle in Fig. 2.*

It should be noted that, these two events are not the only interactions that were identified in the SAR imagery. In fact, many more exist (seen e.g. near 9.43ºW, 40.48ºN at https://odl.bzh/DkV-Jgtr). In these two cases, however, Mach-stem interactions could be readily identified in SAR, which are consistent with the events described by Wang and Pawlowicz (2012).

4. DISCUSSIONS AND SUMMARY

ISW interactions occur frequently in nature, but these processes have never been studied systematically in satellite imagery. Nonetheless, they may prove important in interpreting ocean observations, especially since wave-wave interactions may yield significant increases in amplitude when comparing with those from the individual interacting waves.

In this study, 32 SAR images were examined for the extended summer of 2018, to survey ISWs propagating between two large submarine canyons off the Portuguese coast. The results show that ISWs propagate mainly from three different directions towards the mid-shelf (SE, E, and NE). Furthermore,

the different ISWs intersect and wave-wave interactions are observed in SAR. In particular, Mach-stem interactions are consistent with the events observed in two cases within a six month observational period, in which energy proxies are higher than the twice the waves' nominal background. However, it is likely that other events may have remained undetected (i.e. not captured within the SAR coverage), especially because it is clear that the waves' propagation geometry between the Aveiro and Nazaré canyons favours wave-wave interactions.

ISWs are known to play an important role in a wide range of ocean phenomena, mainly via their mixing or breaking processes. Assuming that either their amplitudes or vertical velocities are substantially increased in ISW interactions, means that their dissipative effects may be underestimated. This is especially important when considering that, given the right geometry, the coastal environment may stage extended areas of enhanced wave-wave interaction – as shown in this study – with potential consequences to coastal dynamics.

This study shows that SAR imagery offers the prospect to readily evaluate the key characteristics in the two-dimensional horizontal structure of ISWs leading to possible interaction hotspots. In turn, this may have immediate applications, including for dedicated experiments in coastal environments. For instance, identifying proper locations to deploy in situ equipment will allow us to better understand the extent of the interactions along the water column and the effects thereof. That is in fact already the case in our study region, where work is underway in the frame of the HabWAVE project. Namely the in situ survey of ISWs using moored instrumentation and their role on sediment dynamics (cf. Oliveira, P. et al., and Oliveira, A. et al., this issue).

Acknowledgments

Two anonymous reviewers are appreciated for their contributions to the paper. The SAR images were provided by ESA's Sentinel Missions. This work was co-financed by the EU, through ERDF programs Lisbon Regional Operational Program (PORLisboa) and Portugal 2020, and by FCT/MCT national funds, within project LISBOA-01-0145-FEDER-031265. HabWAVE (From benthic resting stages to HAB events: understanding the role of physical-biological coupling off NW Portugal). Jorge M. Magalhaes is supported by FCT – Portuguese Foundation for Science and Technology under contracts UIDB/04423/2020 and UIDP/04423/2020.

REFERENCES

Alpers, W. (1985). Theory of radar imaging of internal waves. Nature, 314, 245–247. https://doi.org/10.1038/413245a0.

da Silva, J. C. B., Ermakov, S. A., Robinson, I. S., Jeans, D. R. G., & Kijashko, S. V. (1998). Role of surface films in ERS SAR signatures of internal waves on the shelf: 1. Short-period internal waves. Journal of Geophysical Research, 103(C4), 8009–8031. https://doi.org/10.1029/97JC02725.

da Silva, J. C. B., New, A. L., & Azevedo, A. (2007). On the role of SAR for observing "local generation" of internal solitary waves off the Iberian Peninsula. Canadian Journal of Remote Sensing, 33(5), 388–403. https://doi.org/10.5589/m07-041.

Jeans, D .R. G., & Sherwin, T. J. (2001). The variability of strongly non-linear solitary internal waves observed during an upwelling season on the Portuguese shelf. Continental Shelf Research, 21, 1855–1878. https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00026-7.

Magalhaes, J. M., & da Silva, J.C.B. (2012). SAR observations of internal solitary waves generated at the Estremadura Promontory off the west Iberian coast. Deep-Sea Research I, 69, 12–24. http://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.06.002.

Muacho, S., da Silva, J. C. B., Brotas, V. & Oliveira, P. B. (2013). Effect of internal waves on near-surface chlorophyll concentration and primary production in the Nazaré Canyon (west of the Iberian Peninsula). Deep-Sea Res I, 81, 89–96. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.07.012.

Quaresma, L. S., Vitorino, J., Oliveira, A., & da Silva, J. (2007). Evidence of sediment resuspension by nonlinear internal waves on the western Portuguese mid-shelf. Marine Geology, 246, 123–143. http://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.04.019.

Shroyer, E. L., Moum, J. N., and Nash, J.D., 2010. Energy transformations and dissipation of nonlinear internal waves over New Jersey's continental shelf. Nonlin. Processes Geophys., 17, 345–360. doi: https://doi.org/10.5194/npg-17-345-2010.

Tian, Z., Jia, Y., Zhang, S., Zhang, X., Li, Y., & Guo, X. (2019). Bottom and Intermediate Nepheloid Layer Induced by Shoaling Internal Solitary Waves: Impacts of the Angle of the Wave Group Velocity Vector and Slope Gradients. Journal of Geophysical Research: Oceans, 124(8), 5686–5699. http://doi.org/10.1029/2018JC014721.

Wang, C., & Pawlowicz, R. (2012). Oblique wave-wave interactions of nonlinear near-surface internal waves in the Strait of Georgia. Journal of Geophysical Research, 117, C06031, doi:10.1029/2012JC008022.

Mid-shelf internal wave activity off Figueira da Foz in September 2019

Oliveira, P. B. (1); Magalhães, J. M. (2); Pires, A. C. (3); Oliveira, A. (4); Santos, A. I. (4, 5)

(1) IPMA, Av. Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165 Algés. pboliveira@ipma.pt

(2) DGAOT, FCUP and CIIMAR, AV. General Norton de Matos s/n, 4450-208 Matosinhos, Porto

(3) MARE/FCUL - Campo Grande, 1749-016 Lisboa

(4) IH - R. das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa

(5) Instituto Dom Luiz/Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Abstract: Mid-shelf instrumentation moored off Figueira da Foz is used with contemporary satellite Synthetic Aperture Radar (SAR) to describe Internal Solitary Wave (ISW) activity from 07 to 19 September 2019. Vertical profiles (temperature, velocity and echo intensity) show intense ISW activity with large amplitude waves being mostly measured at the mooring site during low-tide ± 3 hours. ISW trains comprised up to six waves with clear signatures in vertical velocities, echo intensity and thermocline vertical displacements. Temperature fluctuations, characterized by a 2-3 ºC increase below the thermocline, have a median duration of ~15 min, and are bounded by vertical velocity bursts exceeding 5 cm/s over most of the water column (20-80m), which reach the bottom nepheloid layer for larger amplitude ISWs. The SAR signature of one of these events on a contemporary satellite image is presented and interpreted as the result of nonlinear interaction of two onshore propagating wave trains.

Key words: bottom nepheloid layer, internal waves, NW Iberia, shelf oceanography, supra-inertial currents.

1. INTRODUCTION

Previous studies have shown a strong activity of internal solitary waves (ISWs) over the Portuguese shelf during late spring and summer (Jeans and Sherwin, 2001; Small, 2002; Quaresma *et al.*, 2007; da Silva *et al.*, 2007). These waves are readily observed in radar satellite images (e.g. Magalhães and da Silva, 2012), and are linked to a variety of oceanographic processes, from sediment resuspension (Quaresma *et al.*, 2007) to the modulation of near-surface chlorophyll-a distribution and primary production (*e.g.* Muacho *et al.*, 2013).

In this study, we use mooring data obtained during a multidisciplinary campaign - HabWAVE'19 - carried out in the frame of the HabWAVE Project, to characterize the ISW activity over the mid-shelf off the NW Portuguese Coast. The results are presented focusing on the relationships between the backscattered sound intensity, vertical velocities and the thermal field.

2. DATA AND METHODS

The HabWAVE'19 campaign consisted in three complementary activities: (i) the deployment of an instrumented mooring (results reported here); (ii) shipborne observations at a fixed station covering the ~100m depth water column near the mooring position (Oliveira, A. et al., this issue); (iii) repeated cross-shore transects at 40.22 ºN extending from the coast to ~25 nm offshore. The instrumented mooring was deployed at the 113 m isobath off F. Foz, NW Portugal and operated from 07 to 19 September 2019 (cf. Fig. 2, top). The mooring was equipped with five self-recording thermistors and two ADCPs. The thermistors nominal depths were 16, 27, 38, 50 and 62 m. The up-looking 300 kHz and the 1200 kHz ADCPs were mounted in a dual frame at ~100 m depth. All instruments operated with a sampling interval of 30 s. The vertical ADCP bin sizes were set to 0.5 m and 3.0 m, respectively for the 1200 kHz and 300 kHz instrument. The acoustic backscatter profiles, retrieved from the ADCPs were converted from echo intensity counts into dB, according to Goustiaux and Van Haren (2010) and corrected to account for geometrical spreading and fluid attenuation and retrieve the fluid "corrected" backscatter (*e.g.* Haught *et al.*, 2017), herewith referred as FCB or simply as backscatter. To enhance the temporal variability patterns, anomaly FCB values were computed by subtracting the background levels estimated from the temporal mean over the 12-day observation period. Wind and sea surface temperature (SST) were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) available from the its "*Archive data for research*" . The wind stress components (T_{xb} , T_{yb}) were computed from the ECMWF wind components (u10, v10) using standard bulk formulas.

3. RESULTS

The mooring period was set to enclose the mid-September spring tides and coincided with a short-pulse (~2 day) of intense upwelling favourable northerly winds (> 0.1 N/m2) (Fig. 1A).

These wind conditions were associated with a ~1.5 ºC drop on sea surface temperature (SST), that reached ~16 ºC one day after the wind stress peak (occurred on 10 September). From 07 to 15 September, the 300 kHz (up-looking) ADCP backscatter (FCB) is dominated by periodic fluctuations linked with the diurnal cycle (cf. sun elevation angle - purple line in Fig. 1B). FCB maxima are observed during the night (flat segments in the purple line) and relatively low values are recorded in the whole water column during the day.

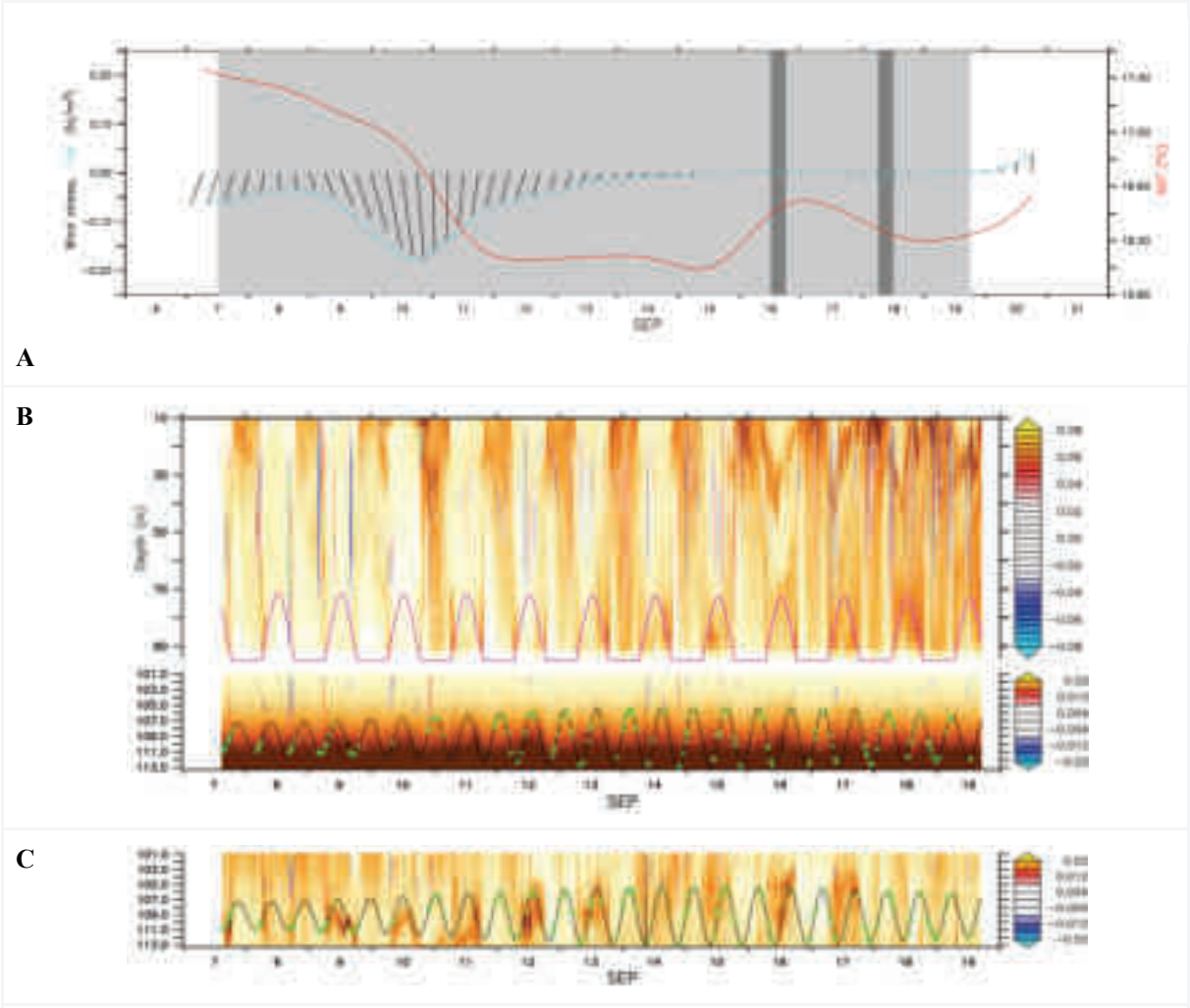


*Fig. 1. (**A**) Wind stress (stick plot - black, N/S component - light blue) and sea surface temperature (SST, red) from ECMWF analysis; light-gray shades indicates the 12-day mooring operating period (dark-gray bars indicate the two vessel surveys at the mooring site reported by Oliveira, A. et al., this issue). (**B**) backscatter (FCB, orange-brown shades - scale not shown) and vertical velocities (vertical blue to yellow lines) above background levels (0.025 m/s for top layer, 0.010 m/s for bottom layer) measured with the up- and down-looking ADCPs operating at ~100 m depth. Periodic curves overlaid on ADCP FCB represent tidal heights (black) and sun elevation angle (purple) (arbitrarily scaled); green symbols over the tide curve indicate the time of occurrence of high vertical velocities (> 0.025) extending in the water column for more than 60 m measured by the up-looking ADCP. (**C**) down-looking ADCP FCB after removing the 12-day average background level.*

This pattern vanishes in the last 4 days when backscatter increases throughout the water column, and there is a vertical excursion of the backscatter maxima in the upper levels during the day, separating the morning (deepening) from the afternoon period (shallowing). In the deeper levels (80 – 90 m) short-term (~1 h) FCB maxima generally occur synchronously at sunrise and sunset. The backscatter in the bottom layer (from the down-looking 1200 kHz ADCP, Fig. 1B) shows a monotonic increase with depth, as expected from higher particulate matter concentration closer to the bottom. Maximum FCB occupy the deepest levels (111 - 113 m) throughout the 12-day record. The FCB anomalies (Fig. 1C) show 5-10 m meter excursions of increased backscatter with diurnal timescales. Although, in some tidal cycles, with night-time high tides (e.g. 11-12, 12-13 and 16-17 Sep), there is very little temporal variability in the backscatter. ISWs can be identifiable in the velocities measured by the ADCPs as pairs of negative and positive vertical velocity "bursts" (5-15 min), outstanding from the generally low values (< 0.025 m/s), frequently exceeding 0.05 m/s. These events can be seen in Fig. 1B as vertical blue-to-red lines and, more clearly, as vertical bands in Figs. 2B and 2C. Despite that higher vertical velocities generally occur in the layer 30-60 m, and that their signal weakens with depth, the ISWs are still identifiable in the bottom layer as vertical velocity pulses above the low (< 0.01 m/s) background values (see also Fig. 1B, C). From 07 to 10 Sep, most high vertical velocity events (> 0.025 m/s) measured by the up-looking ADCP, whose vertical extent exceeds 60 m, occur within a 3-hour interval around local low-tide time (cf. green symbols overlayed in the tide curve, Fig.1B, C). This is the more persistent temporal feature of these events: at least one or two events occurred close to local low-tide time throughout the 12-day observation period, with the remarkable exceptions of the three low-tides from the afternoon of 10 Sep to the evening of 11 Sep. Apart from the ISWs grouping around low-tide in the first three days, and the recurrent low-tide events, there is a large variability in the timing of ISWs passage at the mooring site, with no apparent phase locking with the semidiurnal tide. This temporal variability is greater for the largest amplitude ISWs whose signatures are traceable in the vertical velocities measured with the down-looking ADCP (Fig. 1C). The most remarkable events occurred after the low-tide in the evenings of 07 and 08 Sep (Figs. 2A, 2B). On both days, the solitons were associated with vertical oscillations of the 15 ºC isotherm ranging from 20 to 40 m, and increased backscatter throughout the water column. The deepening of the isothermals corresponded to a 2-3 ºC temperature increase at depths below the thermocline (not shown).

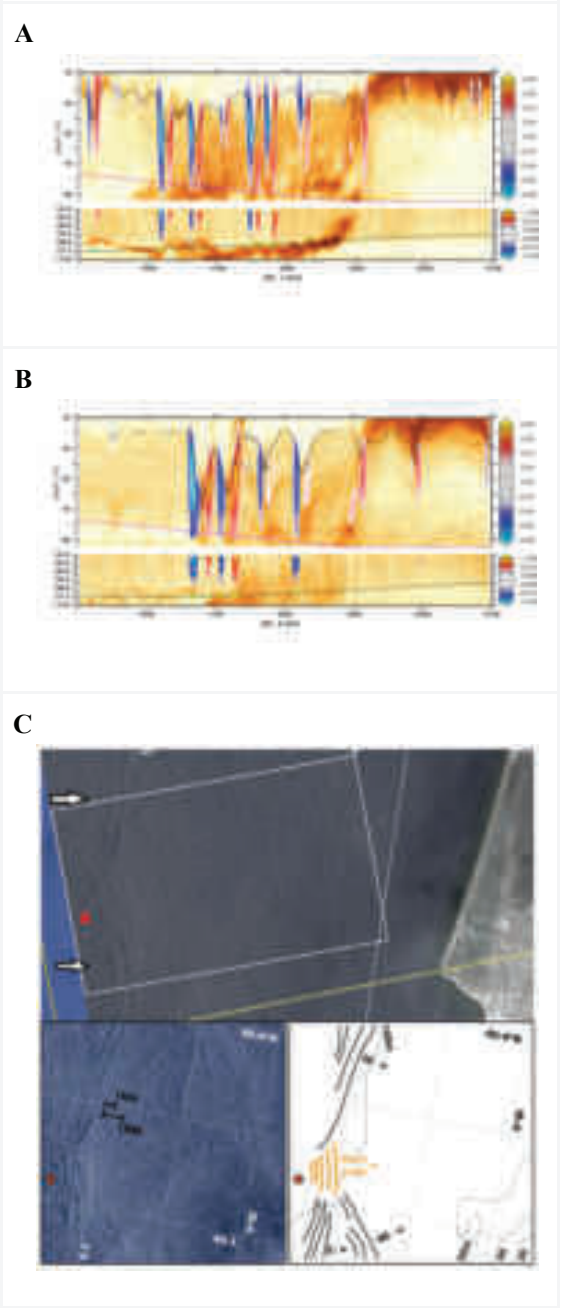


*Fig. 2. Six-hour (15:00 to 21:00 UTC) subsets from Fig.1C on 7 (**A**) and 8 September 2019 (**B**) corresponding to the passage of large amplitude ISWs. The black line represents the 15 ºC isotherm obtained from the thermistor chain. (**C**) Top: SAR image from 7 Sep 2019 18:28 UTC for the study region off Figueira da Foz (cf. OVL data visualisation web portal image, white square represents the area of the enhanced image below). Bottom: enhanced image (left) and interpretation of surface signature of at least two (possibly three) internal wave trains interacting offshore, propagating in the eastward direction (right). The red symbols indicate the mooring location.*

The 07 September event occurred almost simultaneously with the SAR image acquired during the Sentinel 1A satellite passage at 18:28 UTC (Fig. 2C). The image shows the surface signature of several ISW trains in the vicinity of the mooring (red symbol on the left). The orientation of these

alternating brightness bands reveals various propagation directions that are interpreted as follows - when considering our knowledge of the study region as described in more detail in Magalhaes et al. (this issue). Usually, three different sets of ISWs may converge in this study region as they propagate shorewards along mid-shelf depths. In this case, at least two are seen propagating approximately toward the SE and NE directions. However, the SAR image hints on a third ISW packet that appears to propagate to the east. This means that in this particular image there are two (possibly three) different ISW packets interacting simultaneously in the same location. Similar events have been documented in Wang and Pawlowicz (2012), which highlight their nonlinear character and cause enhanced surface backscatter and increases in wave amplitudes of up to four times those of the individual interacting waves (discussed in detail in Magalhaes et al., this issue). Interestingly, Wang and Pawlowicz (2012) discuss the possibility of Mach-stems interactions, which resemble almost identically that observed in Fig. 2. Therefore, as expected from the SAR and the sea surface signatures of the same waves measured in situ (Fig. 2A and 2B), a Mach-stem event is seen to yield exceptionally high amplitudes that extend throughout most of the water column and are seen to affect the backscatter measured in the ADCPs.

4. DISCUSSION AND FINAL REMARKS

Data from an instrumented mooring was used to characterize the ISW activity over the mid-shelf off the NW Portuguese Coast. The ISWs are particularly well captured as vertical velocity events exceeding 0.05 m/s in the water column. The timing of these events was not locked to the semi-diurnal tide. However, two periods could be identified during the 12-day observation period: a first period when all ISWs were recorded within ± 3-hour of local low-tide time, and a second period when ISWs were recorded at any time of the semi-diurnal tide. These two periods were separated by a short (~2 day) upwelling-favourable northerly wind pulse, when only one ISW was recorded. The results give further evidence that wind driven currents are likely to influence the propagation of ISWs as discussed by Jeans and Sherwin (2001). The analysis of an IW train imaged by SAR in the vicinity of the mooring, and the measurements, provided, to authors acknowledge, the first in situ evidence of large ISWs resulting from non-linear resonant (Mach-stem) interactions of two (possibly three) onshore propagating wave trains. The occurrence of this process was first suggested in the Portuguese Coast by Small (2002) in the southwest coast and explored in more detail using SAR images by Magalhães et al. (this issue).

Acknowledgements

This work is a contribution to HabWAVE project LISBOA-01-0145-FEDER-031265, co-funded by EU ERDF funds, within the PT2020 Partnership Agreement and Compete 2020, and national funds through FCT/MEC.

REFERENCES

da Silva, J.C.B., New, A.L., Azevedo, A. (2007). On the role of SARs for observing "Local Generation'' of internal solitary waves off the Iberian Peninsula. *Can. J. Remote Sensing* 33, 388–403, doi:10.5589/m07-041.

Gostiaux, L., and H. van Haren (2010). Extracting Meaningful Information from Uncalibrated Backscattered Echo Intensity Data. J. Atmos. Oceanic Technol., 27, 943–949, doi:10.1175/2009JTECHO704.1.

Haught, D., Venditti, J. G., and Wright, S. A. (2017), Calculation of in situ acoustic sediment attenuation using off-the-shelf horizontal A DCPs in low concentration settings, Water Resour. Res., 53, 5017–5037, doi:10.1002/2016WR019695.

Jeans, D.R.G., Sherwin, T.J. (2001). The Evolution And Energetics Of Large Amplitude nonlinear internal waves on the Portuguese shelf. *J. Mar. Res.* 59, 327–353, doi:10.1016/S0278-4343(01)00026-7.

Magalhães, J.M., da Silva, J.C.B. (2012). SAR observations of internal solitary waves generated at the Estremadura Promontory off the west Iberian coast, *Deep Sea Research Part I*, 69, 12-24, doi:10.1016/j.dsr.2012.06.002.

Muacho, S., da Silva, J.C.B., Brotas, V., Oliveira, P.B. (2013). Effect of internal waves on near-surface chlorophyll concentration and primary production in the Nazaré Canyon (west of the Iberian Peninsula), *Deep Sea Research Part I*, 81, 2013, 89-96, doi:10.1016/ j.dsr.2013.07.012.

Quaresma, L.S., Vitorino, J., Oliveira, A., da Silva, J.C.B. (2007). Evidence of sediment resuspension by nonlinear internal waves on the western Portuguese mid-shelf, Marine Geology, 246, 2–4, 123-143, doi:10.1016/ j.margeo.2007.04.019.

Small, J., 2002. Internal tide transformation across a continental slope off Cape Sines, Portugal. J. Mar. Syst. 32, 43–69. doi:10.1016/S0924-7963(02)00029-5.

Modelling wave overtopping with XBeach and IH2VOF. Preliminary results.

Oliveira, J. N. C. (1,2); Oliveira, F. S. B. F. (2); Neves, M. G. (2); Trigo-Teixeira, A. A. (1)

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal. joao.c.oliveira@tecnico.ulisboa.pt
(2) Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. joliveira@lnec.pt

Resumo: Os avanços na dinâmica de fluidos computacional tornaram a modelação numérica numa ferramenta de grande utilidade e complementar à tradicional modelação física no estudo do fenómeno de galgamento da agitação marítima. Este estudo aborda a modelação numérica do galgamento sobre uma estrutura longitudinal de defesa costeira, aplicando o modelo hidro-morfodinâmico XBeach e o modelo hidrodinâmico IH2VOF. Utilizando condições representativas de uma zona de estudo localizada na Costa Oeste Portuguesa (Cova-Gala), os modelos foram comparados em dois cenários de forçamento distinto para análise das séries de *runup* e galgamento. Os resultados demonstram que o modelo XBeach subestima os níveis obtidos pelo modelo IH2VOF e, na ocorrência de galgamento, subestima quer o número de eventos quer o volume galgado. Estes resultados são o primeiro passo na intercomparação do desempenho dos referidos modelos na previsão do fenómeno de galgamento e na validação dos processos envolvidos com resultados laboratoriais.

Palavras-chave: numerical modelling, IH2VOF, runup, wave overtopping, XBeach.

1. INTRODUCTION

This numerical modelling work addresses the study of the wave overtopping phenomenon on a longshore coastal defence structure, using the XBeach hydro-morphodynamic model (Roelvink *et al.*, 2009) and the IH2VOF hydrodynamic model (Lara *et al.*, 2006). The two relevant features differing in these models are the mutual interactions between hydrodynamics and morphodynamics accounted in XBeach and the possibility to model disconnected fluid areas in IH2VOF, allowing a more precise overtopping modelling. The combined application of the models, under the same representative conditions for a study site in the Portuguese west coast, allows a clearer understanding of coastal defence response to wave overtopping, as well as each model's limitations and advantages in modelling the overtopping phenomenon.

The Portuguese west coast is one of the most energetic and dynamic coastal regions in Europe. The rise of the mean sea level and the expected increase of frequency and intensity of ocean storms, added to the propagation of a southward erosive trend apparent over large time and space scales, predominantly due to the lack of sediment supply, are factors that increase the exposure to coastal erosion, flooding and inundation (Oliveira *et al.*, 2016).

Cova-Gala is located south of the Mondego river mouth (40°8'45" N and 8°52'42" W) in the west coast of Portugal (Figure 1). This study site is characterized by a highly energetic wave climate with high interannual and seasonal variations, combined with a meso-tidal regime with amplitudes reaching 4 m. The average Hs (significant height) is 2.15 m and the average Tp (peak period) is 11.6 s. The reference potential sediment drift average is 1 million m^3/year southwards (Oliveira *et al.*, 2016). To protect this coastal front and reduce the generalized beach erosion verified after the construction of the Mondego river mouth jetties in the 70s, a combined groyne field and seawall defence scheme were built. In the recent years, due to serious erosion problems, the beach protection has been complemented with regular nearshore nourishment operations, using sediments from the river mouth, and, in 2019, with the placement of a geotextile tube revetment in the southern beach stretch, the area most affected by severe erosion, along with dune nourishment.

The present work corresponds to the phase I of a two-phase study to assess the performance of the XBeach and IH2VOF numerical models in modelling the wave overtopping phenomenon on an alongshore coastal defence structure, using representative conditions of the study site in Cova-Gala. In this phase, the same hydro-morphodynamic conditions and a compatible model setup are considered in both models for two case scenarios with a solid bottom profile and distinct hydrodynamic forcing. Overtopping is assessed for two cases of combined incident wave and sea level conditions: case A, designed for the non-occurrence of overtopping, and case B, where overtopping occurs. The model results are compared for the free surface elevation (η) along the model domain, wave runup and overtopping discharge.

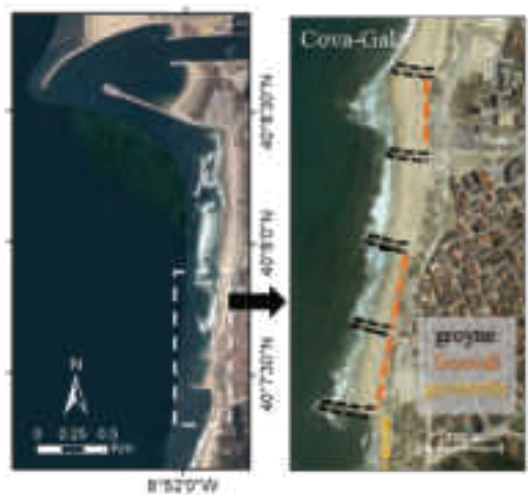


Fig. 1. Satellite view of Cova-Gala and detail of the beach protection scheme: groyne field, seawalls, and geotextile tubes.

2. DATA AND METHODS

2.1 Topo-bathymetric conditions

The topo-bathymetric characteristics adopted for the numerical modelling are representative of Cova-Gala. The XBeach model was applied at the prototype scale and the IH2VOF model was applied at a reduced scale, using a scale factor of 34.5. The 450 m long numerical profile is a schematic representation of a beach profile located in one of the groyne field cells, limited by a seawall at the backshore. At the prototype scale, the profile consists of a 210 m flat bottom starting from the offshore boundary of the computational domain, followed by a slope of 0.10 in the submerged profile for 210<x<383 m, a slope of 0.083 in the beach face for 383<x<416 m, a seawall with a slope of 0.5 for 416<x<429 m and a smooth negative landwards sloping on the top (Figure 2). For both cases, A and B, the bottom is considered solid and impermeable.

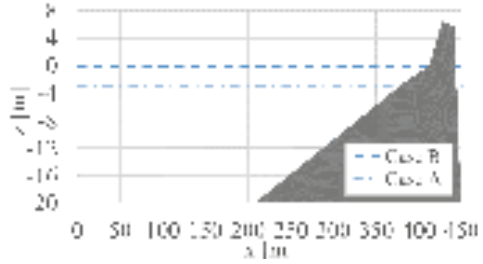


Fig. 2. Numerical beach profile configuration used in the XBeach model (prototype scale). Water level for cases A and B.

2.2 Hydrodynamic conditions

The models were forced with the same hydrodynamic conditions, for each of the two simulation cases. At the prototype scale, in case A, a regular wave with H=4 m and T=12 s was generated at the offshore boundary. The still water level (SWL) was set at 17.25 m above the bottom of the profile at the offshore boundary (Figure 2), corresponding to the level of slope transition between the submerged profile and the beach face, at x=383 m. In case B, a JONSWAP spectrum with the parameters Hs=8 m, Tp=12 s, peak enhancement factor γ=3.3 and directional spreading coefficient s=5 was generated in XBeach and imported into IH2VOF as the η time series at the numerical boundary, guaranteeing equal hydrodynamic forcing in the models when using a wave spectrum. The SWL was set at 20 m above the profile flat bottom (Figure 2), corresponding to the level of the seawall toe, at x=429 m.

2.3 Numerical modelling

The hydro-morphodynamic model XBeach (Roelvink *et al.*, 2009) assesses the natural coastal response to time varying storm and hurricane conditions by solving coupled 2DH momentum equations allowing to model wave runup, dune erosion, overwashing and breaching. For a suitable model application in the analysis of the overtopping phenomenon, morphological evolution was turned off and the Non-Hydrostatic X version of the model was used.

IH2VOF is a two-dimensional hydrodynamic model developed from the COBRAS-UC model (Lara *et al.*, 2006) used for modelling wave-structure interactions. It solves the 2DV Reynolds Averaged Navier–Stokes (RANS) equations on a structured grid, incorporating a non-linear turbulence model, κ-ε, and a volume of fluid (VOF) free-surface movement tracking method, allowing it to model disconnected fluid areas.

For the XBeach model setup, the bottom was considered as a structure via a non-erodible layer to guarantee the compatibility with IH2VOF, which allows the direct definition of the profile behaviour as a non-porous and impermeable media. Several uniform grid spatial resolutions were tested. The resolutions 0.138 (prototype) and 0.004 m (reduced scale) were adopted, respectively, in XBeach and IH2VOF, to reduce computational cost and maintain the same resolution of the processes in both models.

Twelve gauges were considered along the modelling domain to allow a proper calibration of the models and analysis of the results, as can be seen in Figure 3 at the reduced scale. In case A, the maximum wave steepness criterium (maxbrsteep) parameter in XBeach was calibrated by comparing the η time series obtained in gauge 1 (x=17.25 m at the prototype scale) with the time series obtained in IH2VOF. This parameter was kept constant for the simulation of case B. A warm-up period of 7 waves was considered for both models and the η and wave runup were analysed for the subsequent 20 waves in case A. In case B, overtopping was assessed for a period of 50 waves. Since there is no overtopping of the seawall in case A, the wave runup was compared for the two models. In case B, the η and the horizontal velocity in gauge 10 were used to calculate the overtopping discharge and the results between the numerical models were compared.

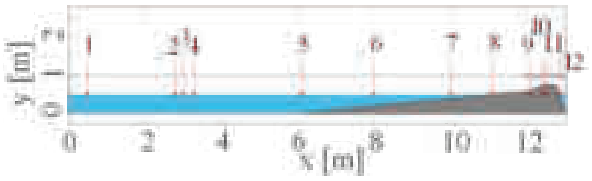


Fig. 3. Numerical beach profile configuration in the IH2VOF model (reduced scale). Case A. Location of the 12 gauges.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results and corresponding discussions are divided into two sections: case A, designed for the non-occurrence of overtopping and where the η and wave runup are analysed, and case B, where overtopping occurs and the overtopping discharge is analysed. The results are presented at the prototype scale.

3.1 Case A

The numerical models were forced with a regular wave and a SWL set at the 0.10 to 0.083 slope transition. The η variation obtained in gauges 1 and 8 using XBeach and IH2VOF, considering the SWL as reference, showed in Figure 4 for a period of 240 s, encompassing 20 waves. The statistics relating the η time series, obtained for the two models are presented in Table I.

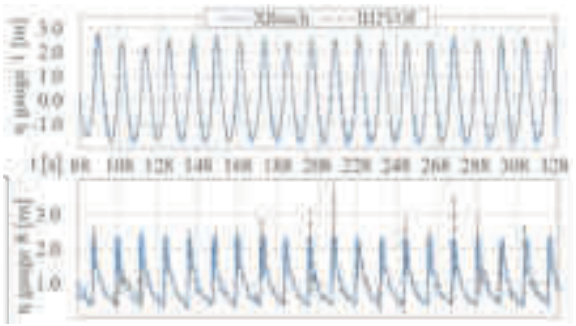


Fig. 4. Free surface elevation time series at gauges 1 and 8 in XBeach and IH2VOF.

Table I. Statistics correlating the free surface elevation time series in XBeach and IH2VOF for gauges 1 to 8: bias and rmse.

Gauge	1	2	3	4	5	6	7	8
rmse [m]	0.23	0.21	0.26	0.24	0.24	0.24	1.03	0.40
bias [m]	-0.16	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.16	0.02	0.07

For the calculation of the bias and the root mean square error (rmse) in gauges 1 to 8, the η time series obtained with XBeach was assessed against the IH2VOF results to quantify the model differences, since the latter represent the most precise expected model predictions, and will be directly validated against reduced scale physical model results in the future. The rmse values (Table I) are low in most of the model domain, indicating that the η predictions obtained with both models are similar, especially in the extension where the waves shape is less affected by the profile bottom, before reaching gauge 7. For the same hydrodynamic forcing, η is negatively biased, meaning that XBeach underestimates the wave energy during the wave propagation process, in comparison to IH2VOF.

In gauges 1 to 6, the η displacements are more significant in the wave troughs and lower levels are obtained in XBeach, with average values of bias=-0.15 m and rmse=0.24 m. Such reduces the probability of the occurrence of wave overtopping with the XBeach model. Although in gauges 7 and 8 the bias is positive, it is approximately zero. The rmse is more significant, especially in gauge 7, indicating that η predictions in the two models have greater differences. These are due to the different approach of the wave breaking physics considered by the XBeach and the IH2VOF models. These differences, in the breaking zone, influence the swash process and lead to greater variations in the wave runup time series obtained in each model.

The runup time series obtained using XBeach and IH2VOF is depicted in Figure 5 for the same simulation period. Table II presents the average (R), minimum (Rmin), maximum (Rmax) wave runup and the two percent exceedance value ($R_{2\%}$), calculated for both model results.

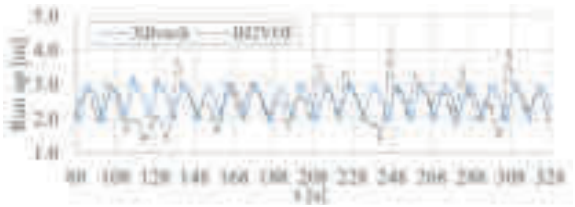


Fig. 5. Runup time series in XBeach and IH2VOF.

Table II. Average, minimum, maximum and two percent wave runup in XBeach and IH2VOF.

Model	R [m]	Rmin [m]	Rmax [m]	$R_{2\%}$ [m]
XBeach	2.56	1.88	3.24	3.05
IH2VOF	2.46	1.29	4.05	3.61

The bias and rmse were calculated. A positive bias of 0.11 m indicates that the XBeach model slightly overestimates the overall runup predicted by IH2VOF, and the average runup value in XBeach is 0.10 m higher, but a rmse of 0.56 m represents more than 40% and 20% of the runup range obtained in XBeach and IH2VOF, respectively. In fact, the runup levels obtained in IH2VOF are more extreme, reaching a maximum of 4.05 m, 0.80 m above the maximum XBeach runup level. Also, the $R_{2\%}$ is 0.56 m higher in the IH2VOF predictions. Figure 5 shows the greater variation of the IH2VOF runup time series compared to that of XBeach, which maintains an approximately constant runup amplitude throughout the simulation. This was expected according to the η analysis in gauge 8 (Figure 4) as the runup peaks are associated to the higher irregular η values identified. The results demonstrate that the IH2VOF numerical model, for this case, is more prone to predict the occurrence of overtopping than XBeach since these irregular and extreme peak values generated by larger

waves are the main cause for the random process that is wave overtopping.

3.2 Case B

The numerical models were forced with a JONSWAP spectrum and a SWL set at the seawall toe. During a period of 600 s, encompassing 50 waves, the overtopping flow was calculated based on the η and u-velocity values registered in gauge 10. Figure 4 shows the overtopping flow (Q) and the accumulated overtopping volume (Accum V) during the simulation period. Table III presents the average (Qav) and maximum (Qmax) overtopping flow values, and the total overtopping volume (Vtot) obtained in the two models.

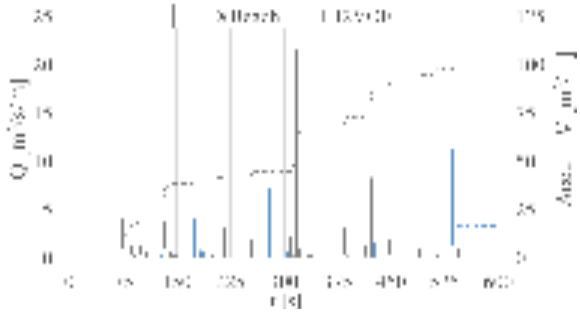


Fig. 6. Overtopping flow and accumulated overtopping volume in XBeach and IH2VOF.

Table III. Average and maximum overtopping flow and total overtopping volume in XBeach and IH2VOF.

	Qav [m^3/s/m]	Qmax [m^3/s/m]	Vtot [m^3/m]
XBeach	0.03	11.17	16.88
IH2VOF	0.18	21.65	107.57

Considering the same hydrodynamic forcing conditions in the two models, XBeach predicted the occurrence of 7 overtopping events while IH2VOF predicted 18 events, more than the double. The maximum overtopping flow in XBeach was half of the maximum IH2VOF value, and the average value was at large underpredicted by XBeach, representing only 16% of the average IH2VOF value. The total overtopping volume in XBeach was 16.88 m^3/m, representing 17% of the 107.57 m^3/m predicted in IH2VOF. XBeach underestimates both the frequency and intensity of the overtopping occurrences predicted by IH2VOF.

Wave overtopping is a random process with respect to time and volume. A single parameter calibration (maxbrsteep) was used for this study, achieving a good η correspondence between models while minimizing the overall energy dissipation in XBeach. An alternative multi-parametric calibration to improve the precision between non-linearity and dispersion, the possible cause for the differences in the dissipation rate of wave energy, was not possible in this NH model version since wave breaking is not extensively parameterized. Nevertheless, the analysis of case A supports the above-mentioned conclusions of the overtopping analysis in case B: XBeach underestimates the wave energy predicted in IH2VOF and, consequently, the occurrence of overtopping. The results obtained in this study are limited by the need of validation against measured data, to be done in future work. The precision of the IH2VOF model comes at a high computational cost: the simulations presented in this paper, which consider simplified topo-bathymetric and hydrodynamic conditions, take weeks to run using IH2VOF over a few hours using XBeach. The model choice requires a compromise between precision and computational cost, especially when it comes to model complex field conditions.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This paper corresponds to the phase I of a two-phase study on wave overtopping using numerical models and empirical formulations. The XBeach and IH2VOF numerical models' performance was assessed in modelling wave overtopping on a seawall, for the same hydro-morphodynamic conditions. The results for the two modelled scenarios, with and without overtopping, show that the two models display greater differences in the breaking and swash zones. In spite of the calibration methodology adopted, XBeach underestimates the wave energy predicted by IH2VOF, considered to be more precise due to its possibility to model disconnected fluid areas, which leads to an underestimation of both the frequency and intensity of the overtopping occurrences, predicted by IH2VOF. Future work, regarding phase II, will include the morphological evolution of the profile, using XBeach and the empirical MASE formulation, to analyse overtopping during storm conditions and varying sea levels, and the IH2VOF model results will be validated against reduced scale physical model results.

Acknowledgements

The work described was supported by FCT through the Ph.D. Grant PD/BD/128508/2017 and the project CYTED 2017-PE-PROTOCOL.

REFERÊNCIAS

Lara, J. L., Garcia, N. & Losada, I. J. (2006). RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures. *Coastal Engineering,* 53**,** 395-417.

Oliveira, J.N.C., Oliveira, F.S.B.F., Teixeira, A.A.T. (2016). Coastline evolution south of the Mondego river inlet: modelling the impact of the extension of the north jetty. *4th Hydrographic Institute Scientific Journeys,* Hydrographic Institute*,* Lisbon*,* 245-248.

Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., McCall, R., Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152.

Modelling 2DH beach morphodynamics in XBeach: model versions and hydrodynamic modes performance

Oliveira, J. N. C. (1,2); Oliveira, F. S. B. F. (2); Trigo-Teixeira, A. A. (1)

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal. joao.c.oliveira@tecnico.ulisboa.pt
(2) Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. joliveira@lnec.pt

Resumo: O modelo numérico XBeach, cada vez mais aplicado na simulação dos complexos processos hidro-morfodinâmicos da zona costeira, tem sido atualizado com várias melhorias ao longo dos últimos anos. Este estudo investiga as implicações da utilização dos modos Surfbeat e Não-Hidrostático das duas versões 2DH mais recentes do modelo, Kingsday (2015) e XBeachX (2018), na modelação da evolução morfológica para um *setup* de referência. São simulados dois dias de evolução morfológica de uma área cuja topo-batimetria uniforme é interrompida pela presença de uma estrutura de defesa costeira transversal, centrada no domínio. O forçamento hidrodinâmico consiste numa onda erosiva regular, sendo as condições hidro-morfológicas consideradas representativas da zona de estudo, Cova-Gala, localizada na zona central da Costa Oeste portuguesa. Os resultados, que demonstram diferentes tendências e padrões de evolução morfológica, são discutidos à luz do conhecimento dos processos contemplados nas respetivas versões-modos do modelo e das suas correlações.

Palavras-chave: beach morphodynamics, erosion, groyne, numerical modelling, XBeach.

1. INTRODUCTION

Many coastal populations are exposed to coastal erosion, wave attack and flooding, mostly due to land use pressure. These hazards tend to aggravate due to the climate change induced sea level rise and expected increase of storm frequency and intensity. There is a need for a better understanding of the complex coastal dynamics and adaptation to climate change as these populations rely on the performance of coastal defence structures for protection.

Morphodynamic numerical models are nowadays critical to predict the complex hydrodynamic and morphological behaviour of the nearshore and improve the effectiveness of coastal protection solutions. The interactions between the hydrodynamic forcing and the sedimentary bottom accounted for in process-based models such as XBeach, allow a comprehensive understanding of the coastal dynamics for simplified or complex local hydro-morphological characteristics, including the influence of the presence of coastal defence structures.

Over the last few years, the numerical schemes and physical formulations implemented in the XBeach model have been improved and new formulations have been included and validated in new releases.

This study investigates the differences and implications of using the Surfbeat (SB) and Non-hydrostatic (NH) modes of the two latest XBeach-2DH versions, Kingsday (2015) and XBeachX (2018), in modelling morphological evolution tendencies for a setup of reference. The hydro-morphological and sedimentological characteristics used in the model setup, as well as the cross-shore defence structure design parameters, are representative of a study site located in the highly dynamic central-west coast of Portugal, Cova-Gala. Two days of morphological evolution were modelled for a hydrodynamic forcing scenario consisting of a simple stationary erosive wave. The objective is to analyse the differences in the morphological evolution patterns obtained for the same conditions, and relate them with the improvements and the processes accounted for in the respective version-mode to better understand how to optimize the implementation of XBeach in morphological evolution modelling.

2. DATA AND METHODS

2.1 Topo-bathymetry and sedimentology

The topo-bathymetric characteristics adopted as the initial morphology of the computational area were based on the representative conditions for Cova-Gala as defined by Oliveira *et al.* (2016). The computational domain, with 800x1100 m^2 (dimensions in the alongshore and cross-shore directions respectively), consists of a uniform grid with a resolution of dx=dy=5 m. The alongshore uniform numerical profile consists of three slopes: 1:77 in the submerged profile, between 12 m below the vertical chart datum reference level (ZH) and ZH; 1:25 in the beach face, between ZH and 4 m above ZH; and 1:3.5 in the frontal dune, between 4 and 14 m above ZH (Figure 1). The domain is limited by a sandy dune at the landwards boundary. At the centre of the domain, the uniform crest level of the 260 m

long and 20 m wide groyne is set at 5 m above ZH, and the bottom of the head of the structure is set at 2 m below ZH. The sediment size characteristics representative of the bottom of the study site were considered uniform in the domain: sand with median and 90th percentile diameter d_{50}=0.30 mm and d_{90}=0.50 mm (Oliveira *et al*. 2016).

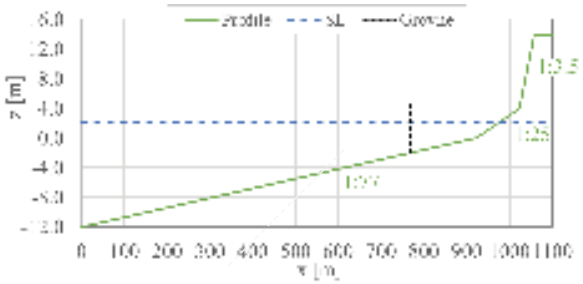


Fig. 1. Morphodynamic model initial bottom configuration: representative beach profile, groyne and sea level (SL).

2.2 Hydrodynamic conditions

A simple stationary erosive scenario was considered during the 48 hours of morphological evolution simulated. The hydrodynamic forcing consisted of a wave with Hs=2.15 m and Tp=11.5 s, the average values characteristic of the study site for the period 1952 to 2010 (Oliveira *et al.*, 2016). A wave angle of 45º of incidence was considered, so that the longshore sediment transport is maximum according to the CERC formulation. These hydrodynamic conditions are considered erosive for the topo-bathymetric characteristics adopted (Oliveira *et al.*, 2016). The mean sea level (SL) was set at 2 m above ZH.

2.3 Numerical modelling

The hydro-morphodynamic model XBeach (Roelvink *et al.*, 2009) was originally developed to assess the natural coastal response to time varying storm and hurricane conditions. By solving the non-stationary shallow water equations, the sediment transport equations, and the continuity equation for the bed update, it can model wave runup, dune erosion, overwashing and breaching. Since its original development, several improvements have been implemented in new releases and it can be applied in three different modes. The Stationary mode solves the wave-averaged equations but neglects infragravity waves. The SB mode solves the short-wave variations on the wave group scale and the associated long waves separately and is the most used when the focus is on swash zone processes and has been extensively validated for the morphological evolution modelling of dissipative beaches. The wave-resolving Non-Hydrostatic mode (NH) computes both short and long waves but with greater computational demand. It combines the non-linear shallow water equations with a pressure correction term and accounts for the wave diffraction and reflection processes. Sandy morphology modelling using the NH mode can be desirable when beach slopes are steeper or when there is a presence of a hard structure. Although this mode was originally developed towards hydrodynamic modelling, the sediment transport formulations have been improved in the latest model version.

Four different version-mode scenarios using a setup of reference were considered (*vd.* Table I): the XBeach *1.22.4867 Kingsday* version was used in simulations 1, SB mode, and 2, NH mode; and the *1.23.5526 XBeachX* version was used in simulations 3, SB mode, and 4, NH mode.

Table I. XBeach model version and mode used in the numerical modelling.

Simulation	Model version	Mode
sim1	Kingsday	Surfbeat
sim2	Kingsday	Non-Hydrostatic
sim3	XBeachX	Surfbeat
sim4	XBeachX	Non-Hydrostatic

The advanced default model parameter values recommended by the developers were considered, and the following parameters and conditions were applied in the model setup. In all simulations, a 2D absorbing-generating boundary condition was imposed at the offshore boundary. A morphodynamic acceleration factor (morfac) of 6 was considered to obtain the 48 hours morphological evolution, reducing the computational time without compromising the resolution of the hydro-morphodynamic processes and their interactions. In the SB simulations, a second-order upwind numerical scheme was used. In the NH simulations, a Warming and Beam scheme was used. In sim3, the new *single_dir* option was considered. The wave direction is solved at regular intervals using the stationary solver, and then the wave energy is propagated along the mean wave direction (Roelvink *et al.*, 2018), considering a bin size of 10º. In sim4, the new reduced two-layer model was used (*nonhq3d*). This improves the accuracy in modelling the frequency dispersion of the NH model due to the additional layer in comparison to the depth-averaged formulation.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The bottom configuration of the model after 48 hours of bottom update in response to the wave induced sediment fluxes and the contour maps of the morphological differences for the same period, are presented in Figure 2 for sim1, sim2 and sim3 and in Figure 3 for sim4. In the contour maps, green and red represent accretion and erosion, respectively.

3.1 Simulation 1: Kingsday Surfbeat

In sim1, after 48 hours of morphological evolution, the model predicted: i) a retreat of the coastline (the 2 m ZH bathymetric line) and generalised erosion of the beach face, more intense on the lee side of the groyne (max. Δz=-0.6 m); ii) a submerged sandbar updrift of the groyne as a result of the beach face sediments deposition (max. Δz=1 m), extending up to half of the groyne length; iii) a smaller accretion area at the upper beach face on the lee side up to ¼ of the structure length (max. Δz=0.8 m); iv) erosion around the groyne (max. Δz=-0.4 m), on a wider area on the

updrift side beyond its head and on the centre of the lee side domain up to the groyne length; and v) an erosive hotspot (max. Δz=-1 m) on the updrift side of the groyne head.

3.2 Simulation 2: Kingsday Non-Hydrostatic

In sim2, the morphological evolution shows general patterns similar to those of sim1 but with the following characteristics: i) a smaller (-5 m) coastline retreat updrift of the groyne and a less intense generalised erosion of the beach face downdrift; ii) a narrower and shorter (max. Δz=0.8 m) sandbar updrift of the groyne; iii) smaller and wider erosion areas respectively updrift and downdrift of the groyne, although maintaining the same intensity; and iv) a small accretion area (max. Δz=0.6) on the downdrift side of the groyne head that in sim1 had almost no expression.

3.3 Simulation 3: XBeachX Surfbeat

In sim3, the morphological changes predicted around the structure are more intense than in sim1 and sim2. Sim3 predicted: i) a more intense generalised erosion of the beach face than in sim1 and sim2, and consequently, a coastline retreat approximately 30 m larger; ii) a more intense beach face erosion downdrift of the structure (max. Δz=-1.6 m) than on the updrift side (max. Δz=-1 m); iii) a wider sandbar (max. Δz=1 m) resulting from deposition of the beach face sediments, reaching the same cross-shore extension as the head of the structure; iv) a wider accretion area on the landwards lee side of the groyne (max. Δz=1 m), further seawards in comparison to the previous simulations; v) a noticeably larger and more intense accretion on the downdrift side of the groyne head (max. Δz=1 m), resulting in the formation of a downdrift directed oblique submerged sandbar; vi) a wider intense erosion area on the updrift side of the groyne, focused near the groyne head (max. Δz=-1 m); and vii) a generalised erosion across the domain downdrift side.

3.4 Simulation 4: XBeachX Non-Hydrostatic

In sim4, the morphological changes predicted show higher bottom gradients than the other three simulations. The model predicted: i) a generalised erosion of the beach face (max. Δz=-0.4 m) followed by a disrupted slightly pronounced alongshore sandbar (max. Δz=0.6 m); ii) a coastline retreat similar to the predicted in sim1; iii) an erosive tendency in the overall model domain after 48h; iv) a greatly enhancement (max. Δz=-4.5 m) of the erosion hotspot previously identified near the groyne head, here widened southwards; and v) the formation of an oblique sandbar with similar alignment to the incident wave direction on the downdrift side of the groyne head. This feature, inexistent in sim1 and sim2, is noticeably more robust (max. Δz=1.2 m) near the groyne head and longer than in sim3. It reveals a shoreward growth that almost reaches the beach face.

3.5 Discussion

The results presented in the above-mentioned version-mode combinations of XBeach reveal the following morphological evolution features: a) retreat of the coastline; b) erosion of the beach face; c) formation of a submerged longshore sandbar in the upper profile at the updrift side of the groyne; d) accretion at the base of the of the groyne at the downdrift side; e) erosion hotspot near the groyne head; and f) formation of a longshore oblique sandbar downdrift of the groyne head. Features a), b) and c) are observed in the results of both versions and modes, and are characteristic of the short-term beach response when subjected to an erosive wave, when erosion of the upper beach leads to the subsequent seawards sediment transport and deposition. Features d), e) and f) can also be found in the presence of a groyne but reduced knowledge is available on the hydro-morphological conditions under which they are formed – Hs, Tp, Dir, d_{50}, bottom slope. The main reason is the difficulty to keep track of the location of these features, for being in a zone of permanent wave breaking.

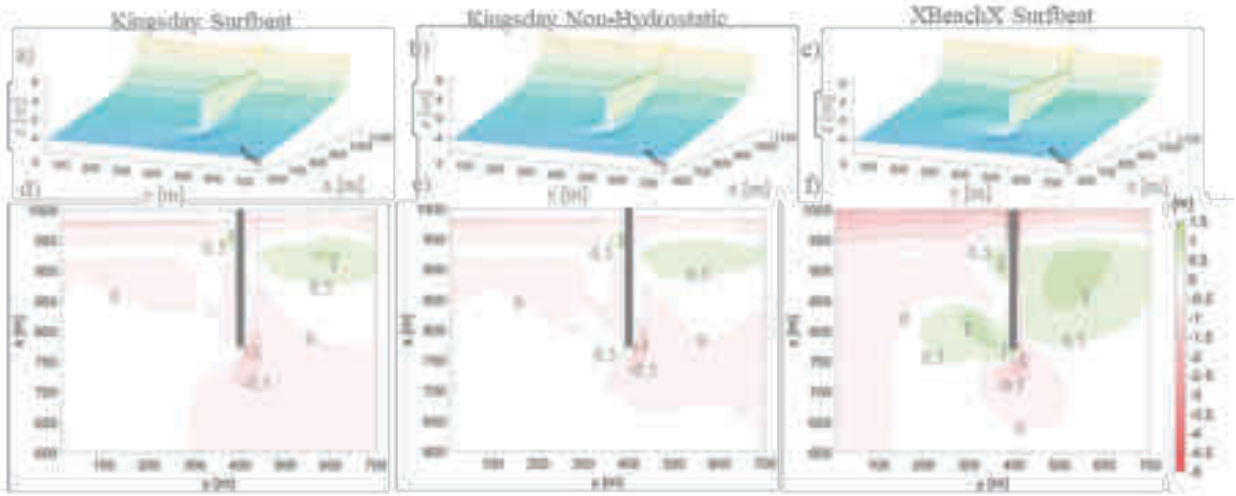


Fig. 2. Bottom configuration of the morphodynamic model after 48 hours of morphological evolution for simulations 1 (a), 2 (b) and 3 (c). Map of morphological differences (48 hours) for simulations 1 (d), 2 (e) and 3 (f): accretion in green, erosion in red. The arrows in (a), (b) and (c) indicate the incident wave direction.

The erosion of the beach face (b) is similar in both Kingsday modes, as the sandbar in the upper profile (c) and the overall erosion pattern. The sandbar accretion is less intense in the NH mode, probably due to the reflection and diffraction processes accounted for in this mode that can cause the seawards deflection of the sand that was extracted from the beach face and deposited in the alongshore bar, as can be seen in Figure 3b. These features are much more intense in the XBeachX SB mode, as the coastline retreat (a). This can be due to the *single_dir* option introduced in XBeachX: the wave group does not spread as much and diffusion is slower, leading to better defined (involving greater volumes) erosion/accretion patterns. In the XBeachX NH mode, features a), b) and c) are more irregular than the ones observed in the other simulation results, and d) is not predicted.

The accretion near the groyne base (d) and the erosion hotspot near the head (e) are similarly predicted in both Kingsday modes and are more intense in the XBeachX SB mode, for the same reasons mentioned for the previous features. In XBeachX NH the erosion hotspot e) is considerably wider and the maximum erosion predicted is four times higher than in the other simulations, most likely due to wave reflection and diffraction associated with the two-layer hydrodynamic model. These processes play a relevant part in supplying the submerged sandbar (f), already predicted in the SB mode of the same version, with the eroded sediments. The account of these processes results in the formation of a longer, more pronounced oblique sandbar in the groyne head with similar alignment to the incident wave direction. This feature is inexistent in the Kingsday version.

The results indicate that the NH mode can be used for morphological evolution modelling in the same way as the SB mode, despite the limited number of parameters available for a real case study calibration in this mode. It allows a detailed analysis of the hydrodynamic conditions and considers relevant processes when modelling a scenario in the presence of a hard structure (diffraction and reflection), that are not available in the SB mode. The most recent version, XBeachX, enables the model to predict new physical features regarding the previous Kingsday version, such as the groyne head oblique sandbar.

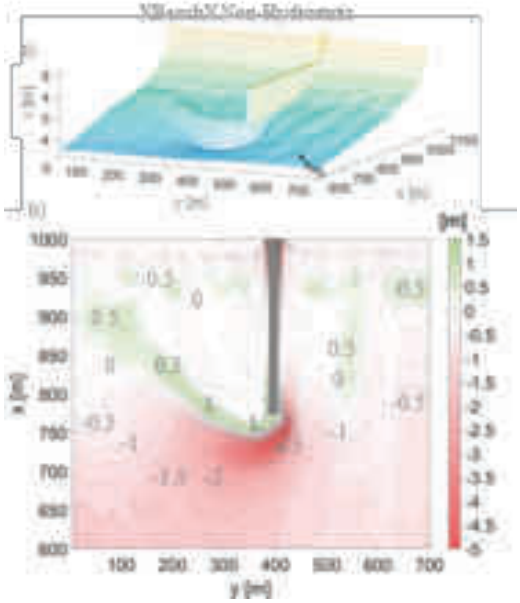


Fig. 3. Bottom configuration of the morphodynamic model (a) and map of differences (b) after 48 hours of morphological evolution for simulation 4. Accretion in green, erosion in red. The arrow in (a) indicates the incident wave direction.

CONCLUSIONS

This study investigates the morphological evolution tendencies predicted using the Surfbeat (SB) and Non-hydrostatic (NH) modes of the two latest XBeach-2DH versions, for a setup of reference forced by a 48 hours simple stationary erosive wave scenario, in the presence of a groyne. The results obtained for an equivalent model setup show that: i) the NH mode predicts similar morphological changes as the morphology-oriented SB mode; ii) the latest version (XBeachX, 2018) modifications and updates to the existing formulations, numerical schemes and default values, enable the model to predict physical features not identifiable in the previous version (Kingsday, 2015), such as the formation of a submerged sandbar downdrift of the groyne head; and iii) the NH XBeachX mode estimates a significantly higher erosion than the other version-mode combinations of the model. The selection of the appropriate XBeach version-mode combination to model a specific scenario must be done according to the topo-bathymetry and structure characteristics, and the hydro-morphological parameters available for the model calibration.

Acknowledgements

The work described was supported by FCT through the Ph.D. Grant PD/BD/128508/2017 and the projects MOSAIC.pt and CYTED 2017-PE-PROTOCOL.

REFERÊNCIAS

Oliveira, J.N.C., Oliveira, F.S.B.F., Teixeira, A.A.T. (2016). Coastline evolution south of the Mondego river inlet: modelling the impact of the extension of the north jetty. *4th Hydrographic Institute Scientific Journeys,* Lisbon*,* 245-248.

Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., McCall, R., Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152.

Roelvink, D., McCall, R., Mehvar, S., Nederhoff, K., Dastgheib, A. (2018). Improving predictions of swash dynamics in XBeach: The role of groupiness and incident-band runup. *Coastal Engineering*, 134, 103-123.

OceanDrift – Forecasting the drift of objects in the ocean

Lamas, L.*(1); Zacarias, N. (1); Diniz, F. (1); Mateus, A. (1); Martins, I. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. luisa.lamas@hidrografico.pt

Abstract: OceanDrift is the lagrangian drift model that is under development at the Oceanography Division of Instituto Hidrográfico. It is based on the assumption that drifting objects behave as passive particles that are freely advected by the ocean currents. The displacement of each particle is calculated using hydrodynamic model outputs available in Copernicus Marine Environment Monitoring Service. At each timestep, the displacement of the particle is estimated using the 4th order Runga-Kutta Method and the velocities are linearly interpolated to each position. Different interpolation methods to improve the model results are still being tested.
First operational tests of the OceanDrift occurred on July 2019 with the drift of two Fugro Wavescan buoys part of MONIZEE Real time Monitoring Network. The forecasted drift showed good agreement with the real displacement of the buoy at first but afterwards diverged considerably. These divergences will be examined using information from the buoy recovery field report and future developments will be discussed.

Key words: displacement prediction, lagrangian model, ocean currents, ocean drift, passive floaters.

1. INTRODUCTION

The ocean circulation is responsible for the movement of fluid particles, which can carry tracers like salt, nutrients and heat, and other matter such as plankton, fish larvae and various debris (e.g. plastic). Knowledge of how this material is transported across the ocean is crucial to understand a number of processes such as the connectivity between the different ocean basins, the link between sources and sinks, the main regions of particle accumulation, amongst others. One of the most used tools to study the transport of material across the ocean are Lagrangian models, which are based on the assumption that drifting particles are freely advected by the ocean currents. Such models can be used in hindcast or forecast modes. For example, the drift of floating particles using historical data can be used in many applications, from global to regional (van Sebille *et al.,* 2018), such as the estimation of ocean currents (Lumpkin and Johnson, 2013), the transport of fish larvae (Santos *et al*., 2018), plankton (Qui *et al.,* 2010), and mapping plastic accumulation zones (Maximenko *et al.,* 2012; Lebreton *et al.,* 2012), whereas forecast drift models may be used to trace oil pollution (Liu and Weisberg, 2011).

The OceanDrift is a Lagrangian model currently under development at Instituto Hidrográfico (IH). The OceanDrift relies on velocity outputs from ocean circulation models as the background velocity and is ready to operate with one or multiple tracing particles. For example, with multiple particles released over large periods of time, the OceanDrift can be used to trace ocean pathways, map convergence zones and hotspots for marine debris, such as floating plastic. Using a smaller amount of particles and forecast ocean model outputs, the OceanDrift can predict the drift of floating objects. The possibility to run the model with a varying surface layer depth will allow to predict the drift of different floaters, such as oil spills, containers, ships, etc.
Here, the first results of the OceanDrift operating in the forecast mode will be presented.

2. OCEANDRIFT MODEL

As mentioned before, the OceanDrift model can be used with one or multiple particles. Presently, only the forecast of a single particle works in the operational mode through the OceanDrift Forecast GUI (Figure 1)

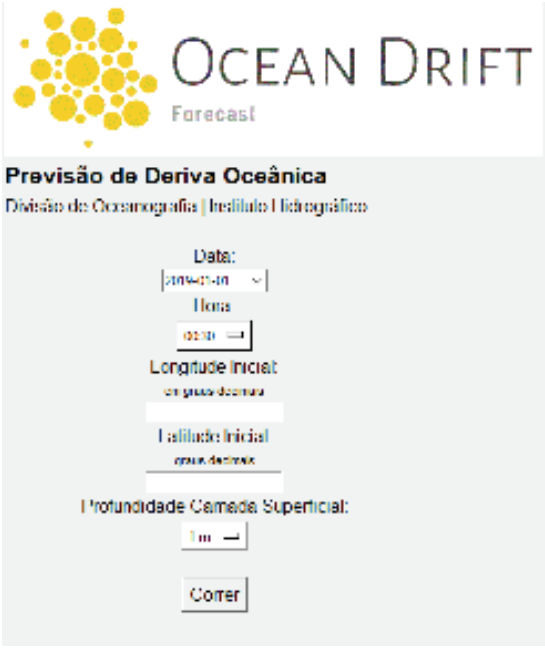


Fig. 1. Ocean Drift Forecast GUI,

The current version of the OceanDrift Forecast GUI runs in Python® and allows the user to select the initial time (date and hour), the initial position (longitude and latitude, in decimal degrees) and the depth of the surface layer. The result, obtained from a Lagrangian solution using 2D velocity fields from ocean hydrodynamic models, consists of hourly positions predicted for the next 24 h and is exported as an ascii file.

2.1 Ocean Model

The ocean modelling data used as the background velocity is available from Copernicus Marine Environment Monitoring Service. The product (ATLANTIC-IBERIAN BISCAY IRISH- OCEAN PHYSICS ANALYSIS AND FORECAST, hereinafter IBI OPAF) consists on a 5-day hydrodynamic forecast at 1/36º horizontal resolution and 50 vertical levels, available at hourly frequency. The geographic limits of the model are 26ºN – 56 ºN, 19ºW - 5ºE. As of now, the OceanDrift model is not available in other geographical areas.

2.2 Lagrangian Model

The Lagrangian model estimates the advection of one or more passive particles from a 2D velocity field. The model estimates the displacement from the classical solution of the non-linear ordinary equation:

$$\frac{dr}{dt} = u(r,t) \qquad (1)$$

With initial position $r(t=0)$, and velocity $u(r,t)$, using the 4th order Runge-Kutta scheme for the integration of the time derivation.

The velocity, initial and consecutive positions are matched to the model outputs using the nearest neighbor method. This has the advantage of model efficiency and simplicity but may be insufficient in reproducing hourly displacements. Application of other interpolation schemes, such as bilinear or bivariate spline, to improve the drifting forecast, are under development.

3. FIRST RESULTS

The drift of two multiparametric Wavescan buoys, part of the MONIZEE Monitoring Real-time Network, with approximately 2.7 m diameter, on the same month (July 2019) provided a valuable opportunity to test the OceanDrift Forecast model. During both events, the model was run hourly to predict the 24-h displacement based on IBI OSAF solutions, using the real positions of the buoy at each timestep. The drift forecast provided information to assess the severeness of situation and to help planning the recovery mission. In spite of being used operationally in both situations, the purpose of this study is to analyze the OceanDrift model performance, and so the results shown here represent the OceanDrift model outputs after the buoys recovery. The first buoy (CSA88/1) was deployed at 2000 m over the Nazaré Canyon (Figure 2). The buoy

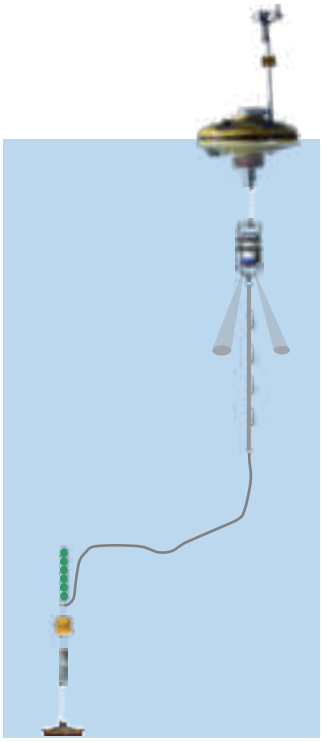


Fig. 2. General Mooring Scheme of the multiparametric buoys

drifted from its deployment position at 00:00 UTC on 17 July 2019 and started drifting southwestwards. Figure 3 shows the real vs forecast displacement of the CS88A/1 buoy, considering the same initial position. Comparing the real and modeled displacements it is clear that the model over predicted the westwards displacement, but the overall difference between both is less than 2 miles, which is within the model resolution. Furthermore, once the buoy was recovered, it was verified that most of the buoy mooring cable was still present. The presence of more than 800 meters of mooring cable would force the buoy to drift not only with the surface velocity but also with currents on the water column, which might explain the divergence between model and real drift.

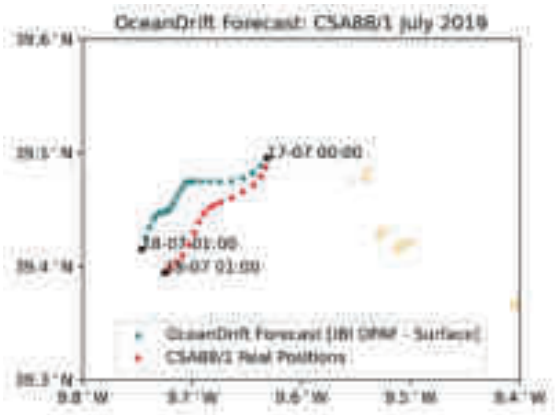


Fig. 3. OceanDrift hourly forecast positions (green) against CSA88/1 real positions (red). The displacement is predicted considering the buoy's position at 00:00 UTC 17 July 2019 as the initial position.

The second drift event occurred later that month, with the CSA88/2, deployed closer to coast, at 80-m depth, over the Nazaré Canyon head. This buoy started drifting from its original position at 17:00 UTC of 30/07/2019 and drifted southwestwards (Figure 4a). The OceanDrift results showed fairly good agreement with the real displacement of the buoy on the first 8 hours, however, after a while, the buoy slowed down and sharply turned southwards. By looking at the bathymetry in Figure 4b, it is visible that the buoy turned southwards when it reached a shallower bank. At that time, it was suspected that this buoy would also carry most of the mooring cable, which might have been anchored to the bottom. Once again, after the buoy recovery, it was confirmed that most of the mooring cable was still attached to the buoy.

Both these situations allowed to test the usability of the OceanDrift Forecast model and showed reasonable results at first. However, since both buoys still had most of the mooring cable attached, the model could not reproduce correctly the drift using only the surface velocity. In addition to the friction caused by the mooring cable, and the possibility of the buoy to anchor to the bottom after drifting from its deployed position, there are other situations that may be impossible to predict, such as fishing nets and other traps that might modify significantly the drift velocity. These situations may cause the divergences between the modeled and real displacement.

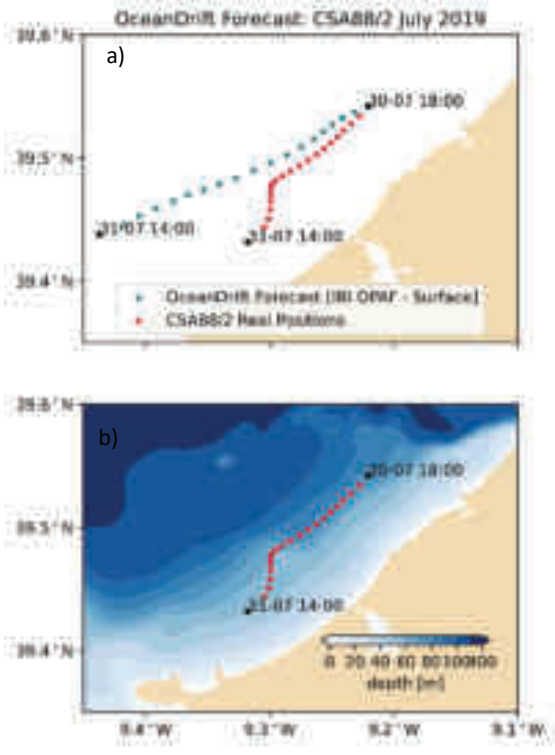


Fig. 4. a) OceanDrift hourly forecast positions (green) against CSA88/2 real positions (red). The displacement is predicted considering the buoy's position at 18:00 UTC 30 July 2019 as the initial position. Initial and final positions are marked as black circles; b) Real CS88A/2 positions against GEBCO 2014 bathymetry.

Future developments will be conducted so that the model takes into account, as much as possible, different sizes and shapes of the drifting object.

Most importantly, these real events showed the relevance of close coordination between operational drift model design and the field technicians on the recovery mission. Not only is the information provided by the drift model crucial to plan the action (in this case the safe and fast recovery of the buoy), but also the field reports detailing the recovery are extremely important to understand the model limitations and motivate new developments.

4. FUTURE WORK

The first results of the OceanDrift Forecast model showed a good applicability of this model to Instituto Hidrográfico missions and responsibilities. However, future developments need to be undertaken, namely the interpolation method for the velocity and consecutive tracking positions and the possibility to account for different shapes and sizes of the floating object.

Other applications of the OceanDrift model are being currently pursued, such as tracing ocean transport pathways to define convergence zones in the Northeastern Atlantic Ocean, which can be valuable to map hotspots of floating marine debris, such as plastic.

Finally, the model will need to be validated using, for example, Wavy Ocean drifters, being developed by the MELOA H2020 project, and other surface drifters such as Metocean iSphere and drifters from the Global Drifting Program.

REFERENCES

A.M.P. Santos, A.-E. Nieblas, P. Verley, A. Teles-Machado, S. Bonhommeau, C. Lett, S. Garrido, and A. Peliz (2018). Sardine (*Sardina pilchardus*) larval dispersal in the Iberian upwelling system, using coupled biophysical techniques, *Progress in Oceanography*, 162, 2018, 83-97.

Lebreton, L. C.-M., S.D. Greer, and J. C. Borrero (2012). Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine Pollution Bulletin*, 64(3), 653–661.

Liu, Y., and R. H. Weisberg (2011), Evaluation of trajectory modeling in different dynamic regions using normalized cumulative Lagrangian separation, *Journal of Geophysical Research*, 116, C09013.

Maximenko, N., J. Hafner, and P. Niiler (2012). Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. *Marine Pollution Bulletin*, 65(1-3), 51–62.

Lumpkin, R., and G.C. Johnson (2013) Global ocean surface velocities from drifters: mean, variance, ENSO response, and seasonal cycle. *Journal of Geophysical Research*, 118, 2992-3006.

Qiu, Z. F., A. M. Doglioli, Z. Y. Hu, P. Marsaleix, and Carlotti, F. (2010). The influence of hydrodynamic processes on zooplankton transport and distributions in the North Western Mediterranean: estimates from a lagrangian model. *Ecological Modelling*. 221, 2816–2827

van Sebille, E., S. Griffies, R. Abernathey, T. Adams, P. Berloff, A. Biastoch, B. Blanke, E. Chassignet, Y. Cheng, C. Cotter, E. Deleersnijder, K. Döös, H. Drake, S. Drijfhout, S. Gary, A. Heemink, J. Kjellsson, I. Koszalka, M. Lange, C. Lique, G. MacGilchrist, R. Marsh, C. Adame, R. McAdam, F. Nencioli, C. Paris, M. Piggott, J. Polton, S. Rühs, S.H.A.M. Shah, M.D. Thomas, J. Wang, P.J. Wolfram, L. Zanna, J.D. Zika (2018) Lagrangian ocean analysis: Fundamentals and practices, *Ocean Modelling*, 121, 49-75

Application of high frequency (HF) radar technology in the detection of tsunamis

Lima, V. (1, 2, 3); Fernandes, C. S. (1)

(1) Instituto Hidrográfico (IH), vania.lima@hidrografico.pt .

(2) Instituto Dom Luiz, FCUL (IDL).

(3) Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, UP (CIIMAR).

Abstract: The high-frequency (HF) surface wave radar systems can monitor and measure ocean surface currents, waves, and wind. With the development of methodologies of tsunami detection and alert using the HF radar systems, these remote sensing systems are increasingly becoming part of the existing National Tsunami Early Warning Systems (NTEWS).
The national HF radar network is composed of 6 HF radars, managed by the Hydrographic Institute (HI). In the framework of the OCASO project, a tsunami detection module (developed by CODAR Ocean Sensors) was installed at the Sagres HF radar station, from September 2018 to January 2020. Recently, the Alfanzina HF radar station was upgraded with this tsunami detection module.
In this presentation, the performance of the tsunami detection system at both radar HF locations is introduced. The analysis of the tsunami detection module output and the results obtained from the tsunami detection software are briefly discussed.

Key words: high frequency (HF) radar, Q-factor, tsunami detection.

1. INTRODUCTION

High-frequency (HF) surface wave radar systems, also referred to as over-the-horizon (OTH) radars, are remote sensing detection systems that use electromagnetic waves in the radio waveband, to measure ocean surface currents, waves, and wind. These systems operate in frequencies between 3 and 30 MHz, wavelengths between 10 and 100 m and can measure to an offshore distance of 100 to 200 km, with resolutions between 3 and 12 km. The measurement precision of the current velocities is around 10 cm/s and 10° in the current direction.
Hidrográfico is the project manager of Project OCASO (Observatório Costeiro Ambiental do SudOeste). The main objectives of this project are (1) to establish a transboundary oceanographic observatory along the Southern region, between Portugal and Spain, taking advantage of the existing monitoring network; (2) to monitor and detect the area's tsunamigenic activity, aiming to provide continuous information for the activities developed, that are relevant to both countries' economies.
The national HF Radar network operated by the Hidrográfico is composed of 6 HF radars (Figure 1), of the brand CODAR Ocean sensors, a company that designs, manufactures and supports the HF radar systems.
At the time of the Tohoku earthquake and tsunami in March 2011, there was already a vast worldwide HF radar network, which contributed to assembling an HF radar signal database. This network boosted the development of methodologies of tsunami detection and alert with the HF radar systems.

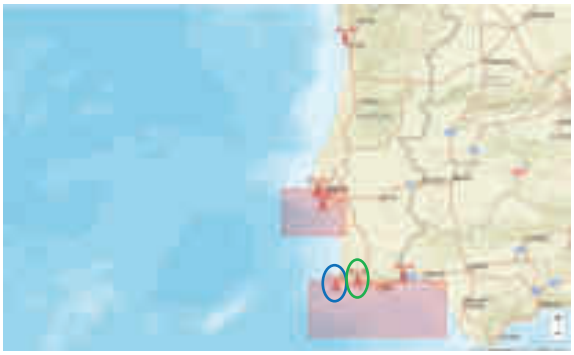


*Figure 1 – National HF Radar Network managed by the Hydrographic Institute. From north to south and west to east: Leça da Palmeira, São Julião, Cabo Espichel, Sagres (**SGTR**), Alfanzina (**AFTR**), Vila Real de Santo António (source: Hydrographic Institute website, 2020).*

In the framework of the OCASO project, a tsunami detection module was operational from September 2018 to January 2020 at Sagres (SGTR) HF radar station, located on the southwestern tip of Portugal. This location was chosen due to tsunamigenic zone proximity. In March 2020, the tsunami detection module was moved to the Alfanzina (AFTR) HF radar station, in a location where the bathymetry and the sea agitation are well behaved. The tsunami module transfer from Sagres to Alfanzina occurred due to the complexity of the ocean dynamics at the tip of Sagres, which consequently generated many false alerts. The AFTR HF radar station is the only HF radar station performing tsunami detection patterns in

Portugal and in the Iberian Peninsula. Similarly, there are currently 5 known HF radars working with the tsunami detection module in the USA national HF radar network. 4 of the 5 HF radars equipped with the tsunami detection module are installed in New Jersey (NJ), an area typically stormed by meteotsunamis–a specific kind of tsunami generated by meteorological events–, therefore a prolific event area in terms of HF detection data to look at. Oscillations generated by meteotsunamis are similar to tsunamis waves and have been typically observed in bays and inlets. The NJ coastal area is characterized by a shallow extended continental shelf, which allows greater detection distance and greater warning time (Barrick *et al.*, 2016). As an example, the 2013 meteotsunami that struck NJ was detected 43 minutes before the coastal impact was felt, which was later verified in the Seasonde HF radars post-processing. HF radars with tsunami detection module have observed tsunami waves in the near field, in intervals ranging from 2 to 50 km from the coast (Roarty *et al.*, 2019).

2. METHODOLOGY

The Seasonde HF radar system by CODAR Ocean Sensors[1] performs continuous surface current mapping and wave monitoring. The tsunami detection module is a software package, remotely installed by CODAR at the HF radar station. At Sagres, the tsunami module functioned and acquired tsunami detection data from September 2018 to early January 2020 (Figure 2). At Alfanzina, the tsunami detection module is operational since the end of March 2020 (Figure 3).



Figure 2 – Sagres (SGTR) HF Radar station antenna (source: Hydrographic Institute website, 2020).

Tsunami waves are described as long, shallow water gravity waves, as its long wavelength, λ, is much larger than the water depth, d, it is propagating in. The tsunami detection system from CODAR performs the detection of the oncoming tsunami wave through its orbital velocity (Roarty *et al.*, 2019). In surface gravitational waves, water particles move in an orbital motion, which is present from deep ($d > \lambda/2$) to shallow waters ($d < \lambda/20$). As a wave travels, its orbital movement passes from circular in deep waters to elliptical in intermediate waters and in shallow waters, where it tends to a linear orbit. In tsunami waves, the longer the wavelength, the larger the length of its orbit, therefore presenting a linear orbit. Thus, the difference in the orbital motion of the water particles of the travelling wave triggers the identification and detection of a possible tsunami wave.



Figure 3 – Alfanzina (AFTR) HF Radar station antenna (source: Hydrographic Institute website, 2020).

The tsunami signal is extracted from the background current and noise employing a pattern recognition algorithm (circular or linear) (Barrick *et al.*, 2016). Before the algorithm is applied, radial velocity maps are calculated from short-term radar cross spectra. The radial velocities are partitioned by the pre-defined 2 km strips–in a total of 8 strips, making up a series of strips from 0 (the coast) to 14 km–, which are parallel to the bathymetric contours. The velocities are resolved into components parallel and perpendicular to the depth contour; afterwards, all the resolved velocities in each strip are averaged, to create onshore/cross-shore and alongshore time series respectively for each of the strips. Finally, the pattern recognition algorithm (PRA) is applied to the calculated time series, to perform the tsunami wave detection, looking for correlation in adjacent strips in nearby times (Roarty *et al.*, 2019). The output from the pattern recognition algorithm is a parameter defined as the Q-factor, derived from the Doppler spectra collected every 2 minutes by the module. The Q-factor is a probabilistic index of tsunami occurrence, which quantifies the presence of a tsunami wave. The spikes observed in the Q-factor

[1] http://www.codar.com/

data indicate possible incoming tsunami waves (Lipa *et al.*, 2016). The detection of the tsunami wave is performed onshore/cross-shore and alongshore: in the onshore/cross-shore detection, the PRA looks for waves propagating perpendicularly to the coast; in the alongshore detection, the algorithm looks for the waves propagating parallel to the coast.

3. OBJECTIVES, RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Goals of the project

In the framework of the OCASO project, the aim is to establish an adequate Q-factor threshold at the HF radar station equipped with a tsunami detection module, to be used in the decision making when issuing tsunami warnings. This Q-factor threshold should be set accordingly and should be distinguishable from other events, minimizing possible false alarms. The main objective is to integrate the HF radar tsunami detection capability in the Portuguese NTEWS. Using a propagation model by CODAR (Barrick *et al.*, 2016), the simulation of possible tsunami scenarios impacting the Portuguese Coast is planned, to be used for further mapping of the coastal impact along the Portuguese coast.

3.2. Results and discussion

The analysis of the Q-factor data output from the Sagres and Alfanzina HF radar stations are shown and performed in terms of statistics and Q-factor spikes. The determination of an appropriate threshold for the Q-factor tsunami warning, minimizing false alarms, is briefly discussed.

Two configurations have been set at the Sagres HF radar station. In the first configuration, spanning from September 2018 to July 2019, the strip detection width was set to 6 km and the tsunami bearing to 0°. In the second configuration, spanning from August 2019 to January 2020, the strip band was corrected to 2 km and the tsunami bearing to 270°, to match the shelf bearing. The reference for the tsunami and shelf bearing angles is 0° North, measured clockwise. The statistics of the onshore and alongshore Q-factor data are presented in Table I. The decrease of the strip detection width and correction of the tsunami bearing, according to the shelf bearing (which is the shelf orientation), showed a new maximum and a new minimum of Q-factor values registered, and therefore a wider range of Q-factor spike values in the positive and negative ranges. Positive Q-factor values indicate that the wave is moving towards the coast and the radar, while negative Q-factor values indicate that the wave is moving away.

The analysis of October 2018 showed a very prolific month in Q-factor spikes (Figure 4). Several oceanographic, meteorological and seismic datasets were analysed. A database of seismic events with origins located within a distance of ≤ 100 km from the radar station was compiled and analysed. Data records from Faro oceanic buoy, Faro wave (coastal) buoy, Sines tide gauge and from meteorological stations available were analysed. Comparing with data for the closest tide gauge available, located in Sines, it was observed a low-pressure event accompanied by a 50 cm variation of the water level residuals at around 18h00 of the 13th October 2018. An onshore Q-factor spike was detected around the same time and the two events are probably connected.

Table I – Q-factor onshore and alongshore values at Sagres HF station, from 2018-09-10 to 2019-07-31 (1st configuration) and from 2019-08-31 to 2020-01-09 (2nd configuration). σ is the standard deviation and n is the number of observations.

Q-factor		1st config	σ	2nd config	σ
Onshore	Max	2620	31.4	6300	58.4
	Min	-1050		-2520	
Alongshore	Max	2620	29.4	6300	55.0
	Min	-1050		-2520	
n		212380		107127	

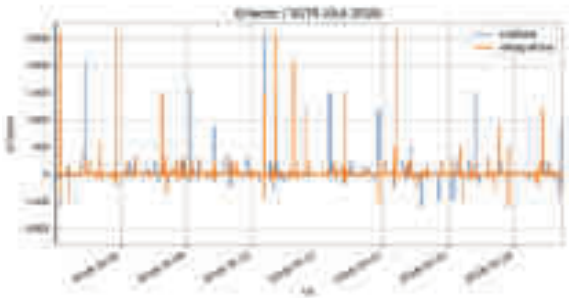


Figure 4 – Q-factor values at Sagres HF Radar station, during October 2018.

No events related to the Q-factor spikes observed in the 4th and 18th September 2019 were detected (Figure 5).

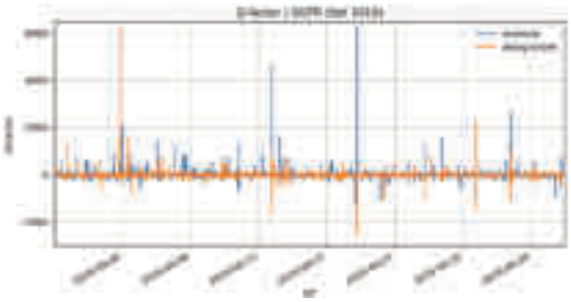


Figure 5 – Q-factor values at Sagres HF Radar station, during September 2019.

Looking at the spectra at the time of these events, a considerable noise level was noticed, which might justify the observed Q-factor spikes. For the detected periodic occurrences of high Q-factor values (Q-factor spike events), considerable noise floor measurement levels on the radar were verified. Seismic events close to the Sagres HF radar station (for a distance between the HF radar station and the

seismic source ≤ 100 km) and the time of arrival of the tsunami wave at the radar's near field were estimated. Possible relations between Q-factor spike events and seismic events were analysed. This type of approach needs further research and validation, using the available HF radar stations' tsunami detection module data.

Table II – Q-factor onshore and alongshore values at Alfanzina HF station, from 2020-03-26 to 2020-08-31. σ is the standard deviation and n is the number of observations.

Q-factor		2nd config	σ
Onshore	Max	3600	27.3
	Min	-980	
Alongshore	Max	6300	48.0
	Min	-1260	
n		103438	

The same type of analysis was performed for the tsunami detection module installed at Alfanzina HF radar station. With the second configuration set, with strip bands of 2 km, ranging from 0 to 14 km, the tsunami bearing set by CODAR was 190°, most probably to match the shelf bearing.

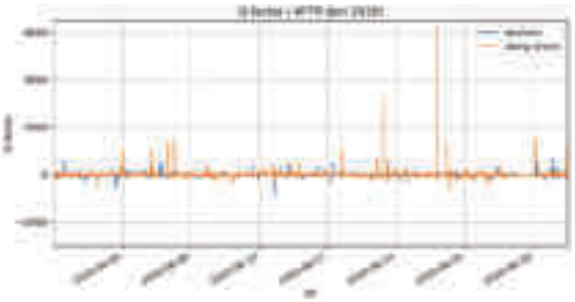


Figure 6 – Q-factor values at Alfanzina HF Radar station, during June 2020.

The Alfanzina HF radar station tsunami data analyzed spanned from late March to August 2020. The statistics of the onshore and alongshore Q-factor data are presented in Table II. During this period of 5 months, only two maximums Q-factor spikes of 6300 were registered, both in the along shore direction, one in the month of May and another one in June (Figure 6). On average, a Q-factor between 1000 and 1500 was detected once a week at the Alfanzina HF radar station.

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

A tsunami detection software was operational from September 2018 to January 2020 at the Sagres HF radar station. The tsunami detection module was later moved to the Alfanzina HF radar station and has been operational since late March 2020. The tsunami detection software outputs a parameter defined as the Q-factor, a probabilistic index of tsunami occurrence, with its spikes indicating the presence of potential tsunami waves (Lipa *et al.*, 2016).

Using the HF radar systems technology, the main goal of this research work–which applies the tsunami detection software developed by CODAR–is to find and establish a threshold Q-factor value for tsunami alerts. The alert is disseminated if the Q-factor value is higher than that determined as a probabilistic safe limit.

On average, we found that a Q-factor greater than 2000 was detected once a week at the Sagres HF radar station. At the Alfanzina HF radar station, this weekly value varied between 1000 and 1500.

It is understood that the noise presence is a probable contributor to false alarms; therefore, external noise sources at the HF radar station should be analyzed, minimized and/or filtered.

A hypothesis would be to consider several Q-factor thresholds providing alerts for given levels of confidence, as well as the real-time crossing of Q-factor, oceanographic, meteorological and seismic events data. This could contribute to a better comprehension and establishment of possible reasons behind the Q-factor data spikes registered at the HF radar stations and establishment of a probabilistic safe limit for the Q-factor value.

REFERENCES

Barrick, D., Lipa, B. and Isaacson, J. (2016). Simulator to evaluate tsunami warning performance for coastal HF radars. *OCEANS 2016 MTS/IEEE*, Monterey, 1-5.

Lipa, B., Barrick, D., Isaacson, J. (2016). Coastal tsunami warning with deployed HF radar systems. *Tsunami*. Book chapter, 73 - 112.

Roarty, H., Garcia, G., Nichols, T. (2019). Evaluation of the CODAR tsunami detection algorithm and software. *CODAR Report*, 6pp.

On the synergy between remote sensing and glider observations to investigate the ocean dynamics

Lamas, L. (1); Martins, I. (1); Vitorino, J. (1); Barrera, C. (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. luisa.lamas@hidrografico.pt

(2) Oceanic Platform of the Canary Islands – PLOCAN. Las Palmas. Spain

Abstract: Remote sensing and in-situ observations provide information at different spatio-temporal scales. While remote sensing provides information at global scales with high local frequency, it is still limited to the surface. Alternatively, in-situ observations can provide information about the water column but represent sparse and sporadic data points. The synergistic use of both data sources seems an evident step to investigate the ocean dynamics.
In recent years, the Portuguese Hydrographic Institute (IHPT) has been collaborating with PLOCAN to establish sustained glider observations across the Northeastern Atlantic. Here, we analyze data collected by an autonomous underwater glider in the first deployment of the observation line between Portugal and the Canary Islands. Preliminary results of the hydrographic characterization of the transect will be presented in this study with focus on the influence of MW and the characteristics of a Meddy identified on the Tagus Abyssal Plain.

Keywords: altimetry, meddies, ocean observations, salinity, temperature.

1. INTRODUCTION

The ocean is a complex system dominated by multiscale dynamics that span over a large range of spatio-temporal scales. The challenge to observe the marine environment relies on the capability to cover such extent of spatial and temporal scales. Traditionally, a single platform can either provide large spatial coverage (e.g. satellite observations) or temporal coverage (e.g. fixed platforms), which limits the capability of investigating a broader spectrum of ocean processes using only one data source. More and more, the observation of the ocean has transitioned from single platform observations to network systems with complementary sensors. The widespread belief is that the synergy between different Ocean Observing platforms will result in a better characterization of the marine environment. This is especially true when considering the combination of satellite and in situ observations, which will benefit from the spatial coverage of the former and the observation in depth from the latter (Alvarez *et al*., 2013).

This is specifically investigated in this article where observations are obtained from glider and satellite altimetry data. Observations were collected during the glider mission "Lisboa_2019", carried out by IHPT and PLOCAN in a marine region offshore the west-southwest coast of Portugal to Madeira, from April until June 2019 (Figure 1). Here, we investigate the signature of a Mediterranean Water Eddy (meddy) identified in the water column from the glider TS profiles and at the surface from altimetry data.

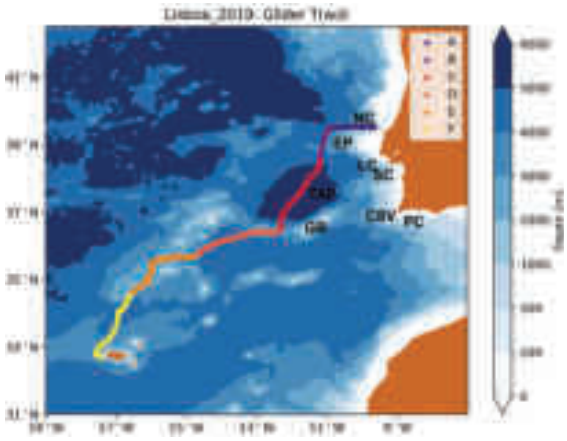


Fig. 1. GEBCO 2014 Bathymetry over the area of study superimposed with the glider trajectory executed during the Lisboa 2019 mission. The trajectory is coloured according to each section (A – F). Some geographic features referred in this study are labeled: CSV: Cape S. Vincent, PC: Portimão Canyon, GB: Gorringe Bank, SC: Setúbal Canyon, LC: Lisbon Canyon, TAP: Tagus Abyssal Plain, EP: Estremadura Promontory, NC: Nazare Canyon.

2. OBSERVATIONS

2.1. Region of Study

This study covers part of the Northeastern Atlantic from Portugal to Madeira Island (Figure 1). The region is strongly influenced by the presence of the Mediterranean Water (MW), an intermediate water mass characterized by a strong salinity anomaly in the 600 - 1500 m depth range (Lozier *et al*., 1995). The MW flows through the Strait of Gibraltar and spreads in the North Atlantic basin at intermediate levels, aided by the activity of submesoscale vortices in the order of 100 km, known as meddies (Pingree and Le

Cann, 1993; Ambar *et al*., 2008). Meddies have been described as rotating lens-like structures with typical diameters between 50 and 100 km, vertical extents of about 700 m and a salty and warm core centered between 800 and 1400 m (Bower *et al.,* 1997; Richardson *et al*., 2000; Ambar *et al.,* 2008). Meddies often result from the instability of the Mediterranean Undercurrent and, since they have rigid rotation, conserve their thermohaline characteristic for long periods of time (Pingree and Le Cann, 1993, Serra and Ambar, 2002). The main formation locations of meddies', reported in literature, are regions with steep bathymetry over the continental slope, such as the Cape St. Vincent and submarine canyons off the Iberian Coast (Pingree and Le Cann, 1993; Bower *et al.,* 1997; Serra and Ambar, 2002). However, the Gorringe Bank, the Estremadura Promontory and the Tagus Abyssal Plain have also been recognized as formation and retention regions of robust meddies (Serra and Ambar, 2002; Batteen *et al.,* 2007; Aguiar *et al.,* 2013).

Several studies have documented that meddies are often accompanied by an anticyclonic circulation at the sea surface (Pingree and Le Cann, 1993), which can be detected using satellite data and, in particular, with satellite altimetry (Oliveira *et al.*, 2000; Bashmachnikov *et al.,* 2014). Superficial signals of the meddies detected from SST show an anticyclonic wrapping of filament structures around the eddy periphery and from altimetry include higher SLA of the order of 10 cm (Oliveira *et al*., 2000; Bashmachnikov *et al.,* 2014).

2.2 Glider data collection

An autonomous underwater SeaGlider M1 collected ocean data from the Nazare Canyon up to Madeira Island from 02 April 2019 until 12 June 2019, covering a total of 1445 km. The Seaglider M1 was equipped with a Glider payload Seabird CTD sensor that measured temperature, conductivity and depth along a sawtooth trajectory, between the surface and a maximum depth of 1000 m. The data was provided by PLOCAN and consists of 12 measurements per minute of latitude, longitude, time, temperature, salinity and pressure. Each glider dive (surface-bottom-surface) took approximately 4h and each consecutive dive is about 3 km apart at the surface.

To ensure coherent synoptic pictures of the marine environment, the trajectory was divided into 6 sections according to time and geographic location (Figure 1). The glider voyage begun in section A, over the Nazare Canyon (NC). Afterwards, the glider enters in section B, over the flank of Estremadura Promontory (ES) and section C, over the Tagus Abyssal Plain (TAP). The next two sections, D and E, cover the historical location of the Azores Current (34 - 36ºN, Alves *et al.,* 2002). The glider journey ends with section F, when it reached the south coast of Madeira Island.

Glider measurements for each section were processed to transform the data into vertical sections of temperature and salinity. Firstly, data was divided into cycles, considering that each glider dive, starting and finishing at the surface, was a cycle. Secondly, the measurements for each cycle were compacted into regular pressure levels, centered at 5 dbar intervals, from surface to 1000 dbar. Finally, the vertical profiles of each section were interpolated to regular horizontal intervals of 5 km. The final result consists of 6 vertical sections with regular horizontal and vertical dimensions.

2.3 Altimetry data

Altimetry data was downloaded from Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) for the study area, from 2 April 2019 until 12 June 2019. The data consists of daily L4 Sea Level Anomaly (SLA), Absolute Dynamic Topography (ADT) and Geostrophic Velocity data in a regular grid of 0.25º x 0.25º. To ensure concurrency between both data sources, altimetry data was averaged for the corresponding period over which the glider crossed each section.

3. MAIN RESULTS

Figure 2 shows the TS diagram from the glider mission, with the presence of the Eastern North Atlantic Central Water in the surface layer [0 – 500 m] with temperatures from 12 to 20ºC and salinity from 35.5 and 36.5. At lower depths [600 – 1000 m], there is a clear signal of the warmer and saltier MW water with a salinity maximum of 36.5 at 600 - 800 m.

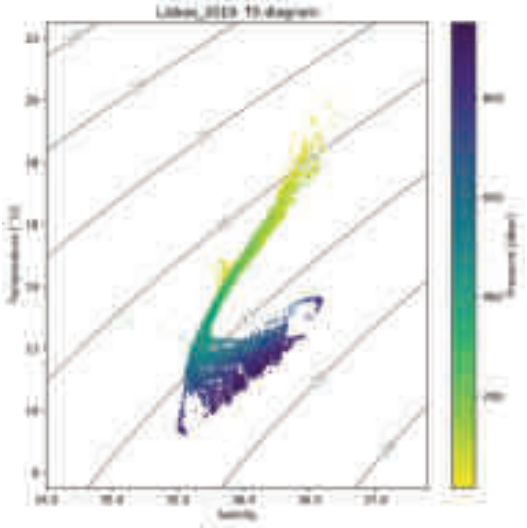


Fig. 2. TS diagram considering the whole glider trajectory. Gray lines represent the density anomaly.

This study will focus on the analysis of Section C, when the glider crossed the Tagus Abyssal Plain, between 14 of April 2019 and 04 of May 2019. Looking at the Temperature and Salinity sections shown in Figure 3, there is clearly a salinity and temperature anomaly centered at 800 m and located on the north side of the TAP (around the 50-km mark), depth range where, traditionally, meddies can be found (Bower *et al.,* 1997; Richardson *et al*., 2000; Ambar *et al.,* 2008). The anomalous warm and salty structure can be detected from 600 until 1000 m (which is the limit of the glider dive), and, at the core, is around 100 km wide. The center shows a maximum salinity value of 36.6, and a temperature of 13.2ºC. There is also a deflection of the density field connected with the meddy, causing the elevation of the isopycnals in the upper levels of the water column, reaching as far as the surface layers. Throughout Section C, it is visible that the salinity increases after 600 m, which indicates the presence of the MW, but salinity values do not reach the maximum found at the core of the meddy, suggesting that the meddy was formed somewhere else and transported to this location.

In Figure 4, where the altimetry data concurrent with the glider data of Section C is shown, it is visible that, at the vicinity of the meddy (marked with a red dot on Figure 4), there is an anticyclonic rotation that results from the higher ADT values in that region. Alongtrack SLA and Relative Vorticity values show that, in the region where the meddy is located, the SLA is about 5 cm higher than at the southern segment of the section, showing also negative relative vorticity, consistent with an anticyclonic rotation. The maximum values of SLA and minimum values of Relative vorticity are not exactly aligned with the central position of the meddy, which is consistent with Bashmachnikov *et al.,* 2014, but can also result from the usage of mean fields of the altimetry data (since the meddy is probably moving during the averaging period). Further work with different averaging windows needs to be conducted to assess this issue.

4. CONCLUSIONS

Analysis of glider data collected in the Lisboa_2019 mission allowed to identify a meddy in the northern limit of the Tagus Abyssal Plain, which is a location where meddies are often detected (Serra and Ambar, 2002, Aguiar *et al*., 2011). The meddy has an horizontal dimension in the order of 100 km, with a maximum of salinity of 36.6 centered at 800 m depth, which matches the typical meddy descriptions reported in literature (Richardson *et al.,* 2000).

Altimetry data showed that, at the location of the meddy, there is an anticyclonic circulation and increase of SLA of approximately 5 cm, which is consistent with previous works (Pingree and Le Cann, 1993, Oliveira *et al*., 2000 and Bashmachnikov *et al*., 2014). The next step will be to analyze across-track SLA from Sentinel 3 SRAL, which, since it has higher resolution, will allow to resolve finer spatial scales. Future work will also include the analysis of.

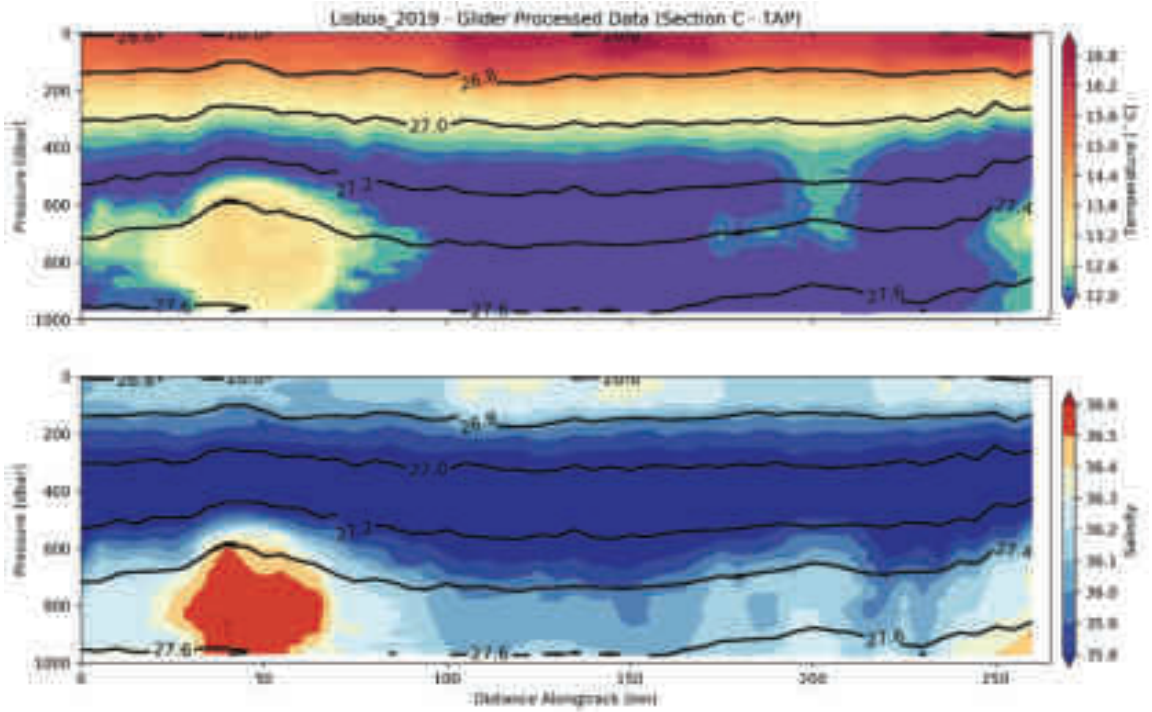


Fig. 3. Vertical profiles of temperature (top) and salinity (bottom) collected by the Glider in section C (TAP). Black solid lines represent the density anomaly (kg.m^{-3}). The zero marks the beginning of section C: 14 April 2019; lon = 11.20ºW; lat = 38.53ºN

the altimetry data prior to the period considered to investigate if the detachment and displacement of the meddy can be detected from altimetry

The identification of meddies from satellite data can be useful for glider trajectory optimization. It may be used in both ways: either to avoid the glider crossing the meddy, which can save the use of battery needed to get the glider free from its influence, or to deliberately divert the planned trajectory to cross it, if there is an interest in studying the meddy's internal structure.

The present study still needs further analysis to improve its robustness but shows an example of the advantageous use of combining multiplatform data to analyze ocean processes at different scales.

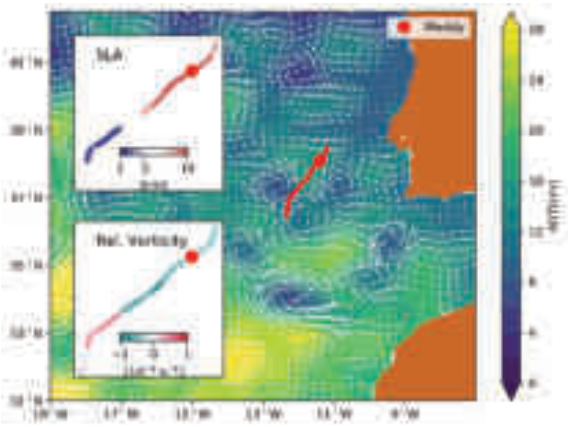


Fig. 4. Absolute dynamic topography averaged from 14 April 2019 and 04 May 2019 is shown in color with the geostrophic currents superimposed. The Section C glider trajectory is shown in red with the center of the Meddy marked as a red dot. The inset plots show the alongtrack SLA (top) and Relative Vorticity (bottom), also averaged over the 14 April – 04 May 2019 period.

Acknowledgements

Seaglider data was collected during the Lisboa 2019 mission funded by IFADO project - Innovation in the framework of the Atlantic deep ocean - (Interreg Atlantic - EAPA_165/2016). Altimetry data are made available by the EU Copernicus Marine Environment Monitoring Service CMEMS data (DATASET-DUACS-NRT-GLOBAL-MERGED-ALLSAT-PHY-L4). We acknowledge crew members of NRP Andromeda, who contributed to the successful data collection

REFERENCES

Aguiar, A. B., Á. Peliz, and X. Carton (2013) A census of Meddies in a long-term high-resolution simulation *Progress in Oceanography*, 116 (2013) 80–94

Alvarez, A., J. Chiggiato, and K. Schroeder (2013) Mapping sub-surface geostrophic currents from altimetry and a fleet of gliders. *Deep-Sea Research I,* 74, 115 - 129

Alves, M., F. Gaillard, M. Sparrow, M. Knoll, and S. Giraud (2002) Circulation patterns and transport of the Azores front-current system. *Deep Sea Research II*, 49 (19), 3983–4002.

Ambar, I., N. Serra, F. Neves, and T. Ferreira (2008) Observations of the Mediterranean Undercurrent and eddies in the Gulf of Cadiz during 2001. *Journal of Marine Systems,* 71, 195–220.

Batteen, M. L., A. S. Martinho, H. A. Miller, and J. L. McClean (2007) A process-oriented modelling study of the coastal Canary and Iberian Current system. *Ocean Modelling*, 18, 1-36.

Bashmachnikov, I., X. Carton, and T. V. Belonenko (2014) Characteristics of surface signatures of Mediterranean water eddies, *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 119, 7245–7266.

Bower, A., L. Armi, L., and I. Ambar (1997) Lagrangian observations of meddy formation during a Mediterranean undercurrent seeding experiment. *Journal of Physical Oceanography*, 27, 2445–2575.

Bower, A., N. Serra, and I. Ambar (2002) Structure of the Mediterranean undercurrent and Mediterranean water spreading around the southwestern Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 107, C10,316.

Lozier, M. S., W. B. Owens, and R. G. Curry (1995) The climatology of the North Atlantic, *Progress in Oceanography*, 36, 1 – 44.

Oliveira, P.B., N. Serra, A. Fiúza, and I. Ambar (2000) A study of meddies using simultaneous in-situ and satellite observations. *Satellites, Oceanography and Society. Elsevier Science*, pp. 125–148.

Pingree, R., and B. Le Cann, (1993) A shallow meddy (a Smeddy) from the secondary mediterranean salinity maximum, *Journal of Geophysical Research*, 98(C11), 20169–20185.

Richardson, P. L., A. S. Bower, and W. Zenk (2000) A census of Meddies tracked by floats, *Progress in Oceanography*, 45(2), 209–250.

Serra, N., and I. Ambar (2002) Eddy generation in the Mediterranean Undercurrent. *Deep-Sea Research Part II*, 49, 4225–4243.

Bias corrected CMIP5-Derived Single-Forcing Future Wind-Wave Climate Projections towards the End of the 21st Century

Lemos, G. (1); Semedo, A. (2,1); Dobrynin, M. (3); Menendez, M. (4); Miranda, P. (1)

(1) Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Lisbon, Portugal. Author: gillemos.ms@hotmail.com

(2) IHE Delft, Department of Water Science and Engineering, Westvest 7, 2611, Delft, The Netherlands

(3) Deutscher Wetterdienst (DWD), Hamburg, Germany

(4) Environmental Hydraulics Institute "IH Cantabria", Universidad de Cantabria, Santander, Spain

Abstract: A quantile-based bias correction methodology is applied to a 7-member single-forcing ensemble of global dynamic wave climate simulations, to mitigate the significant wave height (H_s), mean wave period (T_m) and mean wave direction (MWD) biases, with reference to the ERA5 reanalysis, during 1979-2005. The same bias correction parameters are applied to the H_s, T_m (and further to the wave energy flux; P_w), and MWD future climate projections, for 2081-2100, and the projected changes are assessed. With bias correction, projections show increases in the annual mean H_s (14%), T_m (6.5%) and P_w (30%) in the southern hemisphere, and decreases in the northern. For the extremes, the bias corrected projected changes are more striking, up to 120%, for P_w. With bias correction, the magnitude of the original projected changes has generally increased, showing the relevance of this methodology, able to deal with the misrepresentation of extreme phenomena by the forcing data, especially along the tropical latitudes.

Key words: bias, climate, correction, projections, wave.

1. INTRODUCTION

Potential increases of coastal hazards, like inundation or extreme coastal erosion, are amongst the most disruptive effects of climate change. Waves are a key driver of coastal hazards and considered one of the main climate drivers impacting the coastal environment, significantly contributing to extreme water levels, storm surge effects and coastal erosion. Therefore, knowledge of how future changes in climate might impact the future wave climate became an important issue for decision and policy makers in climate change adaptation and mitigation strategies. Projected changes in the future should, nevertheless, be seen in the context adopted models' ability to reproduce the historical climate. Atmospheric simulations from global climate models (CGMs) often exhibit biases resulting from simplified physics or parameterization, which can cascade, increasing the uncertainty, by forcing wave models offline. To correct these systematic errors, a bias correction (BC) has become common practice in recent climate studies (Applequist, 2012; Hemer *et al.*, 2013a), although not in global wave climate projections. BC methods range in complexity, from simple ones, as the "delta" method (Hay *et al*., 2000), to elaborated ones, as the quantile mapping (Dequé, 2007). The BC strategy has embedded the fundamental assumption that the bias behavior of the climate simulation, assessed in the historic period, does not change in time and is the same in the future climate period (Haerter *et al*., 2011). In this study, a 7-member single-model (WAM), single-forcing (EC-Earth), single-scenario (RCP8.5) wave climate ensemble is used to assess the impact of a warmer climate in the late 21st century wave climate, with the application of BC. The biases are corrected using the EGQM - empirical Gumbel quantile mapping (Lemos *et al*., 2020a) and the EQM - empirical quantile mapping methods having the ERA5 reanalysis (C3S, 2017) as the historical reference.

2. DATA AND METHODS

2.1 The ERA5 reanalysis & the wave climate ensemble

Seven CMIP5 EC-Earth climate simulations were used to force the wave model WAM cycle 4.5.3 with wind speed and sea ice cover, producing seven wave ensemble members. The WAM near-global domain (78ºN to 78ºS) was set with a fixed horizontal resolution of 1º×1º. Despite the good performance in simulating the current wave climate, biases were shown to be visible (Semedo *et al*., 2018b), making this ensemble suited for correction. The ensemble was divided into three time-slices: present climate, 1979-2005 (PC20) used to compute the BCs, a control time slice, 1986-2005 (PC20-C), and future climate, 2081-2100 (FC21). The ensemble was built considering unweighted means of the individual members.

The ERA5 is a global ECMWF reanalysis, produced using the IFS (Integrated Forecast System) cycle CY41R2 release, and an improved data assimilation technique (4D-Var). The horizontal resolution of the atmospheric and wave components in ERA5 is 0.25º x 0.25º and 0.36º x 0.36º. The time resolution is 1 hour. Here, the 6-hourly significant wave height (H_s), mean wave period (T_m) and mean wave direction (MWD) parameters from the ERA5

dataset, interpolated to a 1º×1º horizontal resolution were used to train the BC methods, during PC20.

2.2 The EGQM and the EQM bias correction methods

The EGQM method consists on correcting a simulated empirical cumulative distribution function (ECDF), by adding a correction term to each individual (pre-selected) quantile. The quantiles where this correction term is applied are defined by a standard Gumbel distribution (Gumbel, 1935), focusing on the correction of the extreme values, where higher biases are usually found. This method was used to correct the H_s and T_m parameters, during PC20. The correction term is calculated as the difference between the inverse ECDFs of ERA5 and PC20, at each selected quantile, and applied at every 1º x 1º grid-point of the PC20 global fields, such as:

$$X(q_i) = ECDF^{ERA5^{-1}}(q_i) - ECDF^{PC20^{-1}}(q_i), i = 1, \ldots, n_q,$$

$$PC20^C(q_i) = PC20(q_i) + X(q_i), i = 1, \ldots, n_q,$$

where PC20 is the original wave parameter and $PC20^C$ is the bias corrected one, at each selected quantile. The correction terms are linearly interpolated between the selected quantiles. All data outside the defined quantile range are extrapolated using the same correction terms found for the first and last selected quantiles. A simplified version of the EGQM, the EQM, method was used to correct the PC20 MWD. To do so, the MWD values were transformed into zonal (u) and meridional (v) components, and then corrected individually, reconstructing the MWD at the end. The EQM method was implemented similarly to the EGQM.

3. RESULTS

3.1 Performance of bias correction

The original PC20 annual mean and extreme mean (mean above the 99th quantile) H_s, T_m and MWD biases (PC20 *minus* ERA5), are presented in Fig. 1, as well as the respective corrected biases. The original PC20 overestimates the mean H_s, compared to ERA5 (Fig. 1a), particularly in the southern hemisphere, between 0.1 m and 0.5 m. The original biases for the extreme mean H_s are also mostly positive, but mainly along the extratropical latitudes of both hemispheres (Fig. 1b), up to 2.6 m in the North Pacific. A possible misrepresentation of tropical cyclones in PC20, compared to ERA5 (which potentially better simulates tropical cyclones due to its higher temporal and spatial resolution), is also noticeable, in the tropical North Atlantic (*e.g.*, Gulf of Mexico and Caribbean Sea) and Pacific (*e.g.*, Philippines Sea), with an underestimation of the extreme H_s locally reaching 1 m (3 m) in the North Atlantic (North Pacific). After BC, an extensive reduction of the biases is visible in Figs. 1c,d, now mostly below 0.01 m. The original PC20 mean and extreme T_m values are overestimated across the global ocean, compared to ERA5 (up to 2 s; Figs. 1e,f). After BC, the biases of the annual and extreme mean T_m are effectively reduced, globally, to values below 0.01 s and 0.04 s, respectively (Fig. 1g,h). Fig. 1i shows the original PC20 annual mean MWD biases, overlapped with the PC20 (blue) and ERA5 (green) MWD arrows. While negative (counter-clockwise) biases are mostly visible in the extratropical latitudes, associated with a more-western MWD component, positive (clockwise) biases prevail along the tropics, associated with enhanced southerly component in PC20, related to overestimated swell propagation from the Southern Ocean (as supported by Figs. 1a,b,e,f). After BC, very low values are visible, mostly bellow 0.2º.

3.2 Bias corrected wave climate projections towards the end of the 21st century

Fig. 2 shows the original and bias corrected mean H_s, T_m and MWD projected changes for the annual means, as well as the differences between them. In Figs. 2 and 3, the shading on the left and center panels outlines areas with non-statistically significant projected changes, at the 99% confidence level. The hatching on the right panels refers to areas where the magnitude of the original projected changes (positive or negative) decreased after BC.

The bias corrected annual mean H_s projections (Fig. 2b) show increases mainly in the Southern Ocean, up to 14%. These tend to propagate

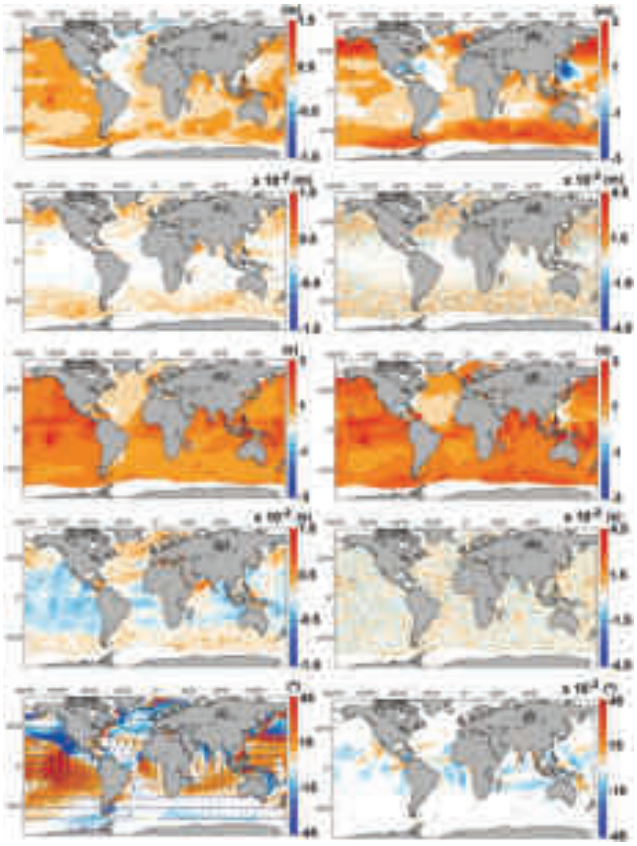


Fig. 1 – Original PC20 bias for the H_S (m), T_m (s) and MWD (º) relative to ERA5, for (a),(e),(i) the annual means and (b),(f) the extreme means (mean for values higher than the 99th quantile), and the correspondent bias corrected fields, (c),(g),(j) and (d),(h), respectively.

northwards, along the eastern halves of the main ocean basins, across the "swell pools" (Chen *et al*., 2002), due to swell propagation. The projected decreases are visible mainly in the North Atlantic (western Pacific), down to -10% (-7%). After BC, increases in the magnitude of the original projected changes (Fig. 2a) are visible in most areas of the global ocean (unhatched areas in Fig. 2c). Enhanced projected increases of 0.9%, after BC, are visible in the higher latitudes, and of 1.3% in the subtropical latitudes of the eastern Pacific. These are also noticeable in some areas of the North Indian sub-basin (2%). Enhanced projected decreases are visible mainly in the subtropical latitudes of the North Atlantic (North Pacific), reaching -1.1% (-0.7%).

The bias corrected projected changes in the annual mean T_m (Fig. 2e) show increases mainly in the southern hemisphere and along the "swell pools", up to 4.5%. Projected decreases can be expected in the North Atlantic and wester Pacific, down to -5.5%. After BC, enhancement of the original projected increases is visible in the eastern Atlantic and Pacific, peaking in the tropical areas ("swell pools"; Semedo *et al.*, 2011), at 1.5% (Fig. 2f). In the North Atlantic (western Pacific), enhanced projected decreases in the annual mean T_m are noticeable, to -0.9% (-1.5%).

The bias corrected projected changes in the annual mean MWD (Fig. 2h) show counter-clockwise (clockwise) rotations, mainly along the extratropical (tropical and subtropical) latitudes, in agreement with the expected enhancement of swell propagation from the Southern Ocean (Figs. 2b and 2e) along with a pronounced decrease in the SIC in the higher latitudes. The comparison between the bias corrected and original projected changes in the annual mean MWD (Fig. 2i) shows higher differences in the northern hemisphere.

Fig. 3 is similar to Fig. 2, but for the extreme mean P_w, given the greater impacts of the extreme events. In Fig. 3, both the annual and seasonal (Dec.–Feb. and Jun.–Aug.) instances are considered. After BC, extreme mean P_w projected increases between 10% and 30% in the Southern Ocean, and up to 18% in the "swell pools" are visible. Projected increases of up to 30% (18%) are also visible in the North Indian sub-basin (higher latitudes of the North Atlantic and Pacific). After BC, an attenuation of the original projected changes is visible in the Southern Ocean and North Atlantic, within 1.8%–5.4%. Increased magnitudes are visible in the "swell pools", Philippines Sea, Gulf of Mexico and Caribbean Sea, up to 9%. During DJF (Fig. 3e), bias corrected projected decreases are visible in the North Atlantic (-20%), and in the western tropical Pacific (western Indian Ocean), down to -36% (-42%), an enhancement of the original projected decreases in -22.5% (-16.5%; Fig. 3f). DJF bias corrected projected increases are visible in the Southern Ocean, within 12%–44%, enhanced in more than 20% in the higher latitudes (Fig. 3f). During JJA (Fig. 3h), bias corrected projected increases are visible in the Southern Ocean, "swell pools" and North Pacific (Philippines Sea). These projected increases are up to 36%, 20%, and 120%, respectively. Considerable decreases can be expected in the western North Atlantic, down to -52%. During JJA (Fig. 3i), enhanced magnitudes are visible in the northern hemisphere, reaching 20% (-19.5%) in the western North Pacific (western North Atlantic). Most of the areas in which BC resulted in enhanced magnitudes are within the path of tropical cyclones, therefore such enhancements are possibly related to the misrepresentation of local tropical phenomena in the original PC20.

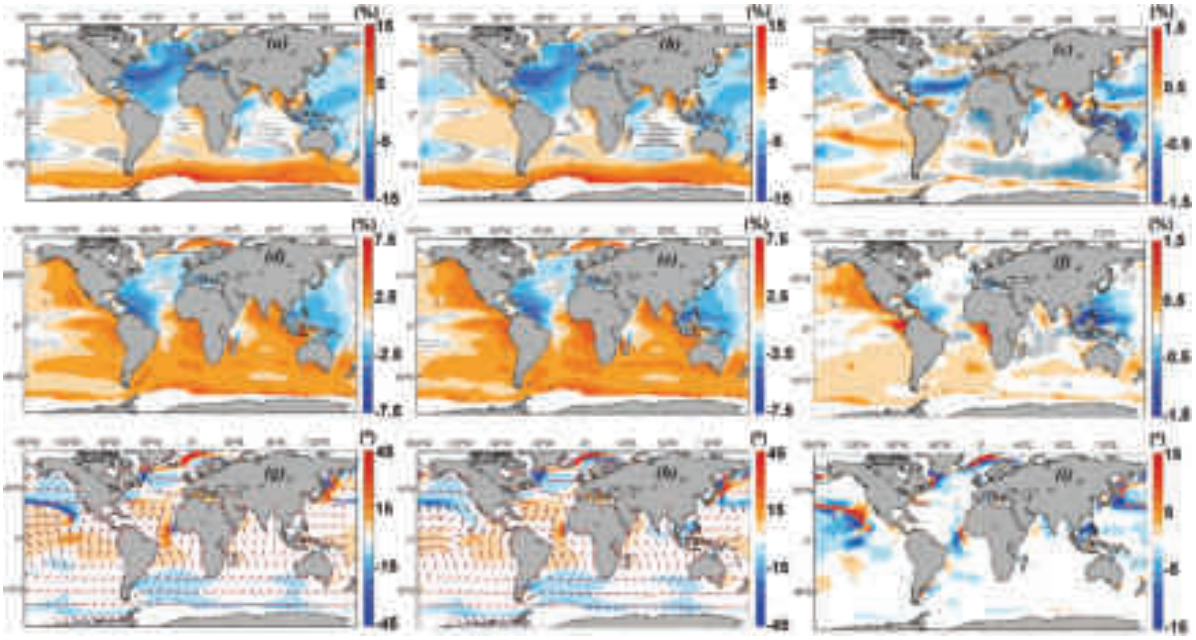


Fig. 2 – (a),(d),(g) Annual original and (b),(e),(h) annual bias corrected mean projected changes for the H_S (%), T_m (%) and MWD (º), and (c),(f),(i) absolute differences between the bias corrected and the original ensemble mean projected changes. The shading in (a),(b),(d),(e),(g),(h) correspond to areas without statistically significant (at 99% confidence level) projected changes. The hatching in (c),(f) outlines areas where the absolute magnitude of the original projected changes decreased after the bias correction.

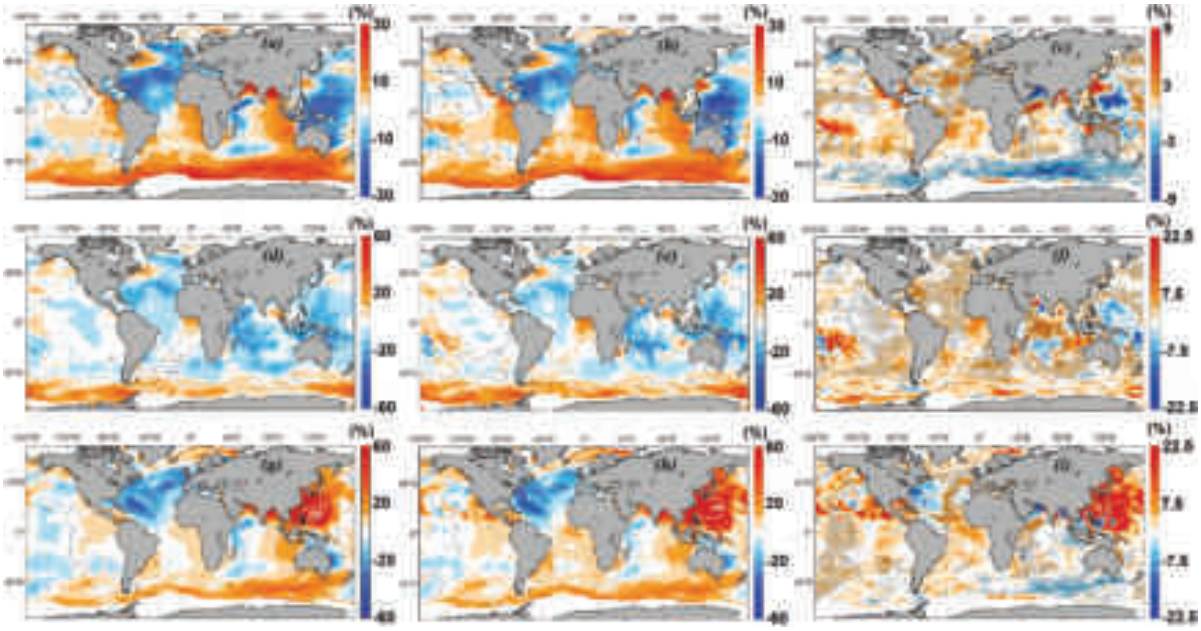


Fig. 3 – Same as Fig. 2, but for the (a–c) annual, (d–f) DJF and (g–i) JJA extreme mean P_w.

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The relevance of a quantile-based bias correction methodology in the estimation of the projected changes in wave climate is acknowledged, due to its ability to deal with the misrepresentation local tropical phenomena, such as the effects of tropical cyclones. Although the bias corrected projected changes described in this study are consistent with the results from previous studies, enhanced projected increases on the annual and seasonal means were found for the H_s and T_m, in the tropical and subtropical latitudes of both hemispheres. Such differences were shown to be more striking for the upper quantiles (extreme events; P_w), consistent with the misrepresentation of the tropical cyclones in PC20.

Acknowledgements

This work has been done under the auspices of the JCOMM COWCLIP (Coordinated Ocean Wave Climate Project). Gil Lemos is supported by the EarthSystems Doctoral School, at University of Lisbon, supported by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) project UIDB/50019/2020 – Instituto Dom Luiz. Melisa Menendez acknowledges the financial support from the Ramon y Cajal Program (RYC-2014-6469) and project ECLISEA, part of ERA4CS/ERA-NET initiated by JPI Climate and cofounded by the European Union (Grant 690462).

REFERENCES

Applequist, S. (2012). Wind Rose Bias Correction. *J. Appl. Met. Clim.*, 51, 1305-1309.

Chen, G. *et al*. (2002). A global view of swell and wind sea climate in the ocean by satellite altimeter and scatterometer. *J. Atm. Oc. Tech.*, 19, 1849-1859.

Copernicus Climate Change Service (C3S). (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. *Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)*, https://cds.climate.copernicus.eu/

Dequé, M. (2007). Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.

Gumbel, E. (1935). Les valeurs extrêmes des distributions statistiques. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, 5 (2), 115–158.

Haerter, J. *et al*. (2011). Climate model bias correction and the role of timescales. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1065–1079.

Hay, L. E. *et al*. (2000). A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States, *J. Am. W Res. A.*, 36, 387–397.

Hemer, M. A. *et al.* (2013a). Global dynamical projections of surface ocean wave climate for a future high greenhouse gas emission scenario. *Ocean Modelling*, 70, 221-245.

Lemos, G. *et al*. (2020a). On the need of bias correction methods for wave climate projections. *Global and Planetary Change*, 186, 103109.

Semedo, A. *et al*. (2011). A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40. *J. of Climate*, 24, 5, 1461-1479.

Semedo, A., *et al*. (2018b). CMIP5 Derived Single-Forcing, Single-Model and Single-Scenario Wind Wave Climate Simulations: Ensemble Configuration and Performance Evaluation. *J. of Marine Science and Engineering*, 6, 90, 28pp.

On the decreases in North Atlantic significant wave heights from climate projections

Lemos, G. (1); Menendez, M. (2); Semedo, A. (3,1); Miranda, P. (1); Hemer, M. (4)

(1) Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Lisbon, Portugal. Author: gillemos.ms@hotmail.com

(2) Environmental Hydraulics Institute "IH Cantabria", Universidad de Cantabria, Santander, Spain

(3) IHE Delft, Department of Water Science and Engineering, Westvest 7, 2611, Delft, The Netherlands

(4) CSIRO Oceans and Atmosphere, Hobart, TAS, Australia

Abstract: The source of the significant wave height (H_s) consistent projected decreases in the North Atlantic, in recent scientific literature, is investigated, using the statistical relationship between a predictor (mean sea level pressure; MSLP) and a predictand (H_s), based on a weather type (WT) classification. This relationship is first obtained for the ERA5 reanalysis (reference), by applying the k-means clustering methodology to the daily MSLP, for the entire 1986-2005 period. It is then applied to a 10-member multi-forcing ensemble of atmospheric and wave climate projections. The projected changes in the WTs frequency of occurrence are related to the ones in the H_s climate, for 2081-2100. Both the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios are analyzed. Results show that the WTs which are projected to become more common in the future are dominated by high-latitude storm belts or atmospheric blocking patterns over the North Atlantic, consistent with lower generalized H_s values.

Key words: Atlantic, climate, north, projections, types, wave, weather.

1. INTRODUCTION

Ocean surface gravity waves result from momentum transfer from the wind to the sea surface. The properties of a wave field are given by the combination of local or remote wind intensity and duration, and by the geographic characteristics of the ocean basins. Waves are categorized into two types: wind sea and swell. Wind sea waves receive momentum from the overlaying wind, being directly coupled to the local wind field (Semedo, 2010). Upon reaching the saturation level, if the waves' phase speed exceeds the local wind speed, they propagate freely as swell. Swell waves dominate the open ocean (Hanley *et al*., 2010), therefore, the wave climate variability is dominated by the changes in swells (Semedo *et al.*, 2011), which carry the effects of remote changes in the winds.

A greater understanding of waves in the climate system is required, and potential future changes in wave conditions must be considered due to their impacts on human activities. In recent scientific literature, using Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5) models, dynamical and statistical wave climate projections for the North Atlantic sub-basin showed that decreases in the mean significant wave height (H_s) can be expected towards the end of the 21st century (Semedo *et al*., 2013; Hemer *et al*., 2013; Lemos *et al*., 2019; 2020). These projections are consensual between most of the authors (Morim *et al*., 2019). One of the contributing factors to the projected H_s decreases in the North Atlantic is its narrow geometry. This configuration has a twofold effect on the future H_s climate: on one hand, due to the increased sensitivity to the projected displacement of the storm tracks to higher latitudes (*i.e.*, as a result of the presence of land masses, such as Greenland and Iceland, limiting the available open ocean areas for wave generation – fetches – above 60ºN). On the other hand, by restricting the propagation of Southern Ocean swells towards the northern portion of the Atlantic basin. The effects of the projected increases in wave activity in the Southern Ocean are noticeable in the northern Hemisphere, although mostly in the eastern halves of the North Pacific and Indian sub-basins (Semedo *et al*., 2013; Lemos *et al*., 2019, 2020), due to its wide geometry, open to South-bound swells.

The goal of the present study is to investigate the physical background of the future projected decreases in H_s in the North Atlantic. This assessment is carried out using a 10-member multi-forcing ensemble of atmospheric and wave climate simulations, the ERA5 reanalysis (C3S, 2017) as historical reference, and a statistical downscaling technique known as "Weather Types" (WT) classification (Camus *et al*., 2014).

2. DATA AND METHODS

2.1 The ERA5 reanalysis & the atmospheric and wave climate ensemble

The dynamic multi-forcing atmospheric and wave climate ensemble used in the present analysis is composed of ten members, using ten different CMIP5 runs, corresponding to the ACCESS1.0, BCC-CSM1.1, CMCC-CM, CNRM-CM5, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, INMCM4,

MIROC5 and MRI-CGCM3 global climate models (GCMs). Both the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios are considered. The daily MSLP is used as the atmospheric component of the ensemble, at 2º x 2º horizontal resolution. The H_s climate simulations were obtained by forcing the WaveWatchIII (WW3) wave model with winds and sea ice cover, from each of the ten CMIP5 GCM runs. 6-hourly time resolution is used for the H_s climate simulations, at 1º x 1º horizontal resolution. The North Atlantic sub-basin domain (20ºN–80ºN, 82ºW–32ºE) is considered in this study.

The ERA5 is a global ECMWF reanalysis, produced using the IFS (Integrated Forecast System) cycle CY41R2 release, as well as an improved data assimilation technique (4D-Var scheme). The horizontal resolution of the atmospheric and wave components in ERA5 is 0.25º x 0.25º and 0.36º x 0.36º, respectively. The time resolution is 1 hour. Here, the daily MSLP and 6-hourly H_s parameters from the ERA5, interpolated to a 2º x 2º and 1º x 1º horizontal resolutions, respectively, over the North Atlantic sub-basin domain, were used.

2.2 The "Weather Types" classification method

A WT approach was used to statistically downscale multivariate properties of the atmospheric and wave climates. Each WT corresponds to an empirical synoptic atmospheric pattern. The WT classification is obtained firstly by running a principal component analysis (PCA), applied to the predictor (MSLP), to reduce data dimensionality. The original data is projected on a new space, whose vectors are defined by the eigenvectors, or empirical orthogonal functions (EOFs), of the data covariance matrix. The principal components (PCs) correspond to the original data projected over the new space. The EOFs are then ordered by decreasing order of explained variance. Only the PCs needed to explain 95% of the variance (pre-defined *a priori*) are used. Secondly, the *k*-means clustering technique is applied in the EOFs space, in order to isolate N^2 patterns (clusters; number of WTs desired) that better represent the original MSLP. N is chosen as the lowest possible value ensuring the representation of the maximum number of WTs, avoiding redundancy (very similar WTs). For the annual analysis, $N = 3$, thus resulting in 9 different WTs. Each entry of the original data (daily MSLP anomalies from a 3-daily running mean) is then associated to each of the clusters, by similarity, *i.e.*, to the pattern exhibiting the lowest spatial cumulative root mean squared error (RMSE). Finally, the statistical relationship between the predictor (MSLP) and the predictand (H_s) is established, by assigning the 6-hourly H_s values to the associated cluster for that specific day. The frequency of occurrence (FO) of each WT is defined by normalizing the number of days assigned to each WT by the total number of days during the considered time-slice. Two major time-slices were considered: present climate 1986–2005 (PC20), used to compute the WT patterns and FO, and compare with the future projections, 2081–2100 (FC21).

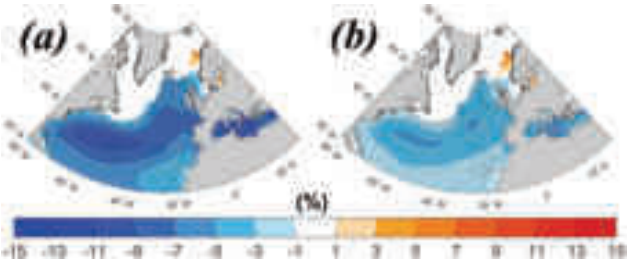


Fig. 1 – Future projected changes for the annual mean H_s, considering both the (a) RCP8.5 and (b) RCP4.5 scenarios (normalized differences: FC21 minus PC20 normalized by PC20). Dotted (crosses) areas indicate ensemble members consistency on projected decreases above 90% (80%).

3. RESULTS

Fig. 1 shows the projected changes for the H_s annual mean, towards the end of the 21st century, considering both the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios. Dotted regions correspond to high consistency (at least 90%) areas, between ensemble members. Projected H_s decreases are visible across most of the North Atlantic, especially at the mid-latitudes of the western half of the sub-basin (a storm generation area), peaking at -11% (-7%) for the RCP8.5 (RCP4.5) scenario. These are highly consistent between ensemble members for both scenarios, especially for the RCP8.5.

3.1 Present climate Weather Types and ensemble evaluation

The ERA5 reanalysis was used to compute the main WTs during PC20. Fig. 2 shows the main annual ERA5 WTs (as MSLP anomalies; hPa), their FO, and the PC20 ensemble mean difference in the representation of these frequencies. Most WTs show higher (lower) pressures dominating at the low-to-mid (mid-to-high) latitudes, in a clear representation of a subtropical anticyclone (the "Azores" anticyclone) and a mid-to-high latitude storm belt. Typical positive-NAO-like patterns are visible for WTs 1, 7 and 8, while WT 2 resembles a negative-NAO-like pattern. Patterns of atmospheric blocking (*i.e.*, higher latitude subtropical anticyclone interrupting the mid-to-high latitude zonal storm belt) are visible for WT 9, and partially, for WTs 3, 5 and 6, due to the higher-latitude positioning of the anticyclonic ridges. WT 3 also accounts for the highest FO (20.8%), largely influenced by its dominance during the summer and autumn seasons (not shown). Fig. 2 shows that the PC20 ensemble is able to reasonably represent the main annual WTs, in comparison to ERA5, with generally low differences in FO, below 1%. The mean absolute deviation (MAD) for the 9 WTs is 0.46%.

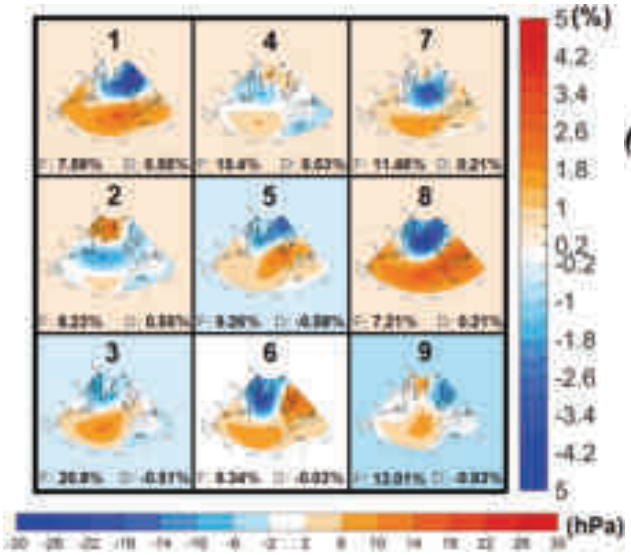


Fig. 2 – ERA5 annual WTs (MSLP anomalies), FO, and their differences in comparison to the PC20 ensemble (ensemble minus ERA5; %).

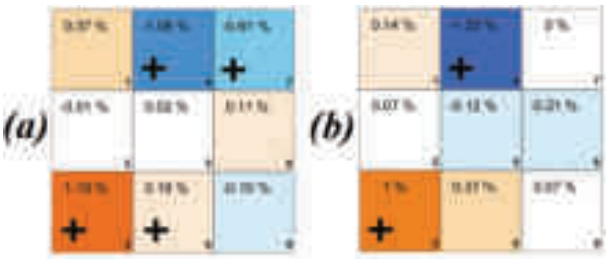


Fig. 3 – Future projected changes for the annual WTs FO (%), considering both the (a) RCP8.5 and (b) RCP4.5 scenarios (FC21 minus PC20). Crosses indicate ensemble members consistency on projected changes above 70%.

3.2 Discussion of atmosphere-ocean waves changes from climate projections

The ensemble mean projected changes for the annual WTs FO (FC21 *minus* PC20), considering both the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios, are shown in Fig. 3. From Fig. 3, a set of specific WTs was chosen, in order to analyze individually: the ones projected to become (consistently) more and less common, in comparison with PC20. The selected WTs are the 3 and 4.

Fig. 4 provides a detailed insight on the annual WTs 3 and 4, for the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios. These are the WTs showing the greatest (and consistent; Fig. 3) projected increases and decreases in FO, at +1.19% and -1.09%, respectively, for RCP8.5, and +1% and -1.33%, respectively, for RCP4.5. The mean H_s and MSLP projected changes, for each WT, are shown, as well as the associated atmospheric synoptic circulation patterns (WTs; MSLP anomalies) and the PC20 mean H_s. WTs 3 and 4 show distinct basic characteristics: while WT 3 (Fig. 4i) is dominated by a large anticyclonic structure across most of the North Atlantic, with a long ridge extending towards northern Europe (60ºN), WT 4 (Fig. 4k) shows a weaker subtropical anticyclone (until 40ºN), allowing a storm belt to be established at lower latitudes than for WT 3. This difference is particularly relevant for wave generation, due to the presence of land masses above 60ºN, limiting the *fetches*. Table I shows that, for WT 3, only 20.9% of the 30ºN-48ºN band exhibits low mean MSLP values (below 1013 hPa). However, low pressures are visible in 51.7% of the 70ºN-80ºN band. WT 4 shows a more even latitudinal distribution of the low pressures, peaking at 39.6% between 50ºN and 68ºN. Figs. 4j,l show

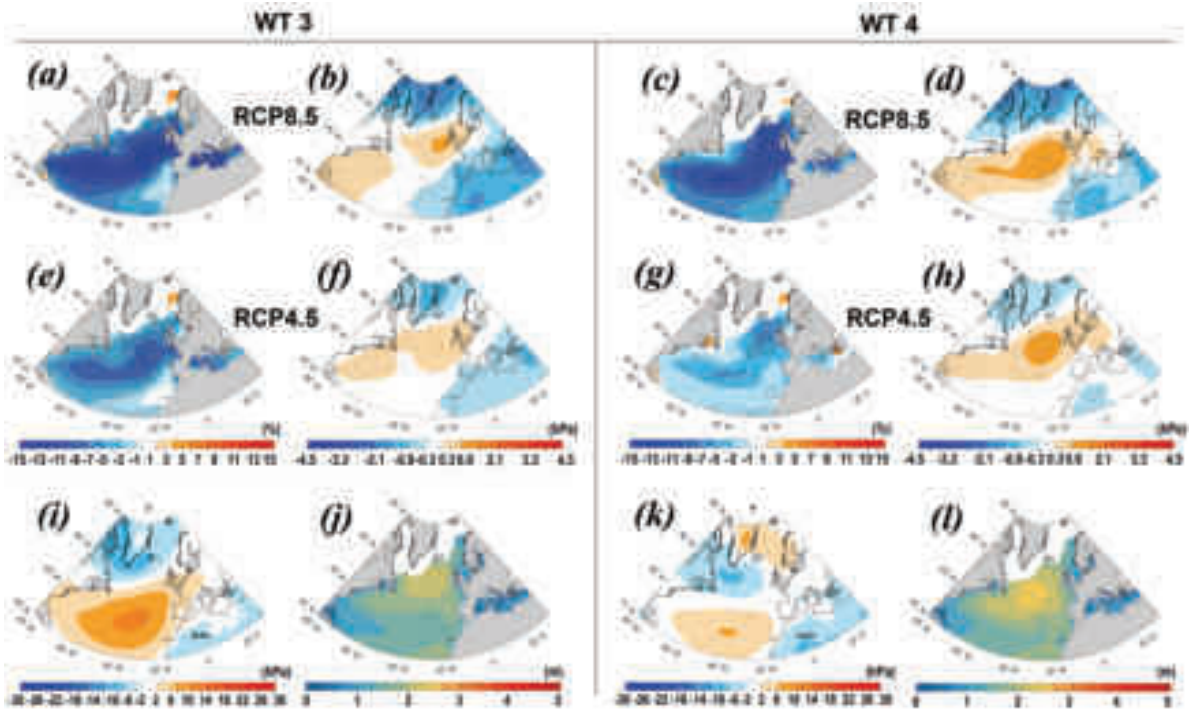


Fig. 4 – Annual mean (a),(c),(e),(g) normalized H_S (%) and (b),(d),(f),(h) absolute MSLP (hPa) projected changes associated with WTs (left) 3 and (right) 4, considering the (top) RCP8.5 and (middle) RCP4.5 scenarios. ERA5 WTs (i) 3 and (k) 4, as MSLP anomalies (hPa), and PC20 mean H_S (m) associated with WTs (j) 3 and (l) 4. Dotted (crosses) areas indicate ensemble members consistency on projected decreases above 90% (80%).

Table I – Percentage of grid-points showing low pressure (MSLP below 1013 hPa) between specified latitudes in the North Atlantic sub-basin domain, along the duration of each of the annual WTs.

WT	30°N–48°N LP (%)	30°N–48°N RCP4.5 / RCP8.5 LP Diff. (%)		50°N–68°N LP (%)	50°N–68°N RCP4.5 / RCP8.5 LP Diff. (%)		70°N–80°N LP (%)	70°N–80°N RCP4.5 / RCP8.5 LP Diff. (%)	
1	21.6	-1.1	-0.2	56.0	-1.0	+1.2	47.9	+3.8	+6.3
2	31.2	-0.7	-0.1	43.5	-0.6	+0.7	26.5	+3.9	+5.2
3	20.9	+0.2	+1.9	47.5	-0.8	+1.1	51.7	+5.0	+9.0
4	26.5	-1.2	0.0	39.6	-0.5	+1.8	25.7	+5.5	+8.6
5	21.7	-1.0	-0.1	44.4	-0.8	+1.8	46.3	+4.3	+7.6
6	23.0	-1.1	-0.1	46.1	-0.7	+1.7	46.7	+4.1	+7.5
7	25.6	-1.2	-0.3	53.6	-0.9	+0.4	37.6	+5.3	+7.2
8	21.5	-0.8	0.0	56.3	-1.0	+0.2	54.3	+3.5	+5.4
9	24.7	-1.1	+0.1	46.2	-0.8	+0.7	32.3	+4.9	+7.0

that the PC20 mean H_s is slightly higher throughout the North Atlantic for WT 4. The projected changes for WT 3 mean H_s show decreases down to -15% (RCP8.5; Fig. 4a) and -9% (RCP4.5; Fig. 4e), mainly at the mid-to-high latitudes of the western half of the sub-basin. Since higher projected MSLP values along the extratropical storm tracks are visible for both WTs, up to 1 hPa (Figs. 4b,d,f,h), for the WT 4 mean H_s, decreases can also be expected. These, however, show lower magnitudes, compared to the ones of WT 3, down to -11% (RCP8.5; Fig. 4c) and -7% (RCP4.5; Fig. 4g). Although both WTs show generalized mean H_s projected decreases, WT 3 patterns show higher consistency and are in better agreement with the ones for the annual mean H_s projections (Figs. 1a,b) than WT 4 ones.

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

This study provided an insight on the projected decreases in the annual mean H_s in the North Atlantic sub-basin, and their atmospheric background, using the "Weather Types" statistical downscaling method.

Overall, the results indicate that the WTs projected to become common in FC21, in comparison with PC20, are dominated by high-latitude storm belts (extended anticyclonic ridges above 50ºN), in positive-NAO-like patterns or atmospheric blocking patterns over the North Atlantic sub-basin, consistent with lower generalized H_s values by the end of the 21st century.

Acknowledgements

This work has been done under the auspices of the JCOMM COWCLIP (Coordinated Ocean Wave Climate Project). Gil Lemos is supported by the EarthSystems Doctoral School, at University of Lisbon, supported by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) project UIDB/50019/2020 – Instituto Dom Luiz (IDL). Melisa Menendez acknowledges the financial support from the Ramon y Cajal Program (RYC-2014-6469) and project ECLISEA, part of ERA4CS/ERA-NET initiated by JPI Climate and cofounded by the European Union (Grant 690462).

REFERENCES

Camus, P. *et al*. (2014). A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *J. of Geophys. Res.: Oceans*, 119, 7389–7405.

Copernicus Climate Change Service (C3S). (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), https://cds.climate.copernicus.eu/.

Hanley, K. E. *et al*. (2010). A Global Climatology of Wind-Wave Interaction. *J. P. O.*, 40, 1263-1282.

Hemer, M. A. *et al*. (2013). Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble. *Nature Climate Change*, 3, 471-476.

Lemos, G. *et al*. (2019). Mid-twenty-first century global wave climate projections: Results from a dynamic CMIP5 based ensemble. *Global and Planetary Change*, 172, 69-87.

Lemos, G. *et al*. (2020). On the need of bias correction methods for wave climate projections. Global and Planetary Change, 186, 103109.

Morim, J. *et al*. (2019). Robustness and uncertainties in global multivariate wind-wave climate projections. *Nature Climate Change*.

Semedo, A. (2010). Atmosphere-ocean Interactions in Swell Dominated Wave Fields. Ph.D. thesis. Uppsala University, Sweden.

Semedo, A. *et al*. (2011). A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40. *J. of Climate*, 24, 5, 1461-1479.

Semedo, A., Behrens, R., Sterl, A., Bengtsson, L., Günther, H. (2013). Projection of Global Wave Climate Change toward the End of the Twenty-First Century. *J. of Climate*, 26, 8269-8288.

Modelação da Acústica Submarina e Previsão Sonar – ferramenta SeaRider

Torres, A. (1); Costa, C. (2)

(1) NRP "Álvares Cabral", Marinha, acltorres@gmail.com.

(2) CINAV, Marinha, cnlcosta@gmail.com.

Resumo: A elevada superioridade tática que os submarinos detêm, torna relevante o desenvolvimento de ferramentas de previsão sonar, que permitam aos navios conhecer a probabilidade e alcance de deteção destas plataformas. Foi construída uma ferramenta operacional, o SeaRider, que engloba os quatro fatores que influenciam a previsão sonar: o equipamento acústico, o meio, o alvo e a plataforma. O SeaRider apresenta as vantagens: recorre à climatologia para os perfis de temperatura e salinidade, à escala mundial, nas resoluções de 1 e de 0,25 graus de latitude e de longitude, da *World Ocean Database* 2018 (fonte aberta) da NOAA, incluindo as climatologias de médias anuais, mensais e estações do ano; calcula o perfil batimétrico através da batimetria GEBCO, na resolução de 0,5 milhas; usa uma abordagem coerente e automática para o cálculo dos ruídos ambiente e próprio, das reverberações, e permite a entrada de dados de XBT, BT, CTD e SVP.

Palavras-chave: Acústica, *Raytracing*, SeaRider, Sonar, WOD18.

1. INTRODUÇÃO

A propagação das ondas sonoras no ambiente submarino está sujeita a um conjunto de fenómenos acústicos, que degradam o sinal útil emitido pelos transdutores. São exemplos desses fenómenos as reverberações (estas têm geralmente a sua origem na presença de bolhas ou seres vivos), reflexões na superfície e/ou fundo e as perdas por transmissão.
A modelação da acústica submarina, e consequentemente de todos os fenómenos acústicos que ocorrem, é um processo bastante complexo, não existindo apenas um modelo ou método para a resolver. No âmbito de indústria de defesa e marinhas existem sistemas para deteção submarina, apoiados em modelos acústicos, mas, devida à confidencialidade, deles pouco ou nada transparece em fontes abertas. O SeaRider, na sequência de trabalhos anteriores de P. Marques e C. Costa (2018) – a ferramenta Delfim - e C. Costa e A. Torres (2019) – a ferramenta FAPSO -, parte de um conjunto de pressupostos considerados válidos pela comunidade científica, tais como as equações sonar e a função "raytrace" (traçado de raios sonoros com refração e reflexões), para obter previsões de alcances de deteção e contra deteção, tendo em conta as condições oceanográficas e/ou meteorológicas, as características da plataforma própria, do alvo e do equipamento acústico utilizado.

2. SEARIDER E PRESSUPOSTOS ACEITES

Para responder às necessidades da comunidade operacional, houve que aceitar um conjunto de pressupostos empíricos, que permitam o cálculo das previsões rapidamente, sem que tal implique perda de rigor ou existência de erros nos cálculos efetuados. As restantes ferramentas operacionais existentes na atualidade também recorrem a estes pressupostos, nomeadamente o FAPSO e o Raypath, sendo o último utilizado a bordo das unidades navais da Marinha e o FAPSO um programa desenvolvido na Escola Naval, que visa uma utilização académica, mas também operacional (C. Costa e A. Torres, 2019).
O SeaRider parte de dois pressupostos principais, o primeiro as equações sonar, que transformam um conjunto de parâmetros relacionados com as condições METOC (meteorológicas e oceanográficas), características técnicas dos equipamentos acústicos, da plataforma própria e do alvo, assim como o conjunto de fenómenos acústicos que ocorrem no ambiente submarino. O segundo pressuposto é o *raytracing*, utilizado para o traçado de raios sonoros, com refrações e reflexões, que permite conhecer as coordenadas horizontais e verticais de interação com o fundo e/ou superfície.

2.1. Equações sonar

Tendo como objetivo a previsão sonar, estas equações relacionam um conjunto de parâmetros que representam os diversos fenómenos a que é sujeito o sinal sonoro, desde que é emitido até ser detetado pelo sistema acústico que processa o sinal. Aquelas equações tornam-se relevantes pela relação logarítmica estabelecida entre esses parâmetros, sendo os cálculos reduzidos a simples adições e subtrações.
Contudo, as equações sonar são apenas uma representação aproximada da realidade do ambiente submarino, visto que o oceano apresenta uma

variabilidade temporal e geográfica bastante elevada, devido aos processos físicos e químicos que ocorrem no seu seio não terem sempre a mesma expressão. Para obter um determinado nível de desempenho, existe uma relação sinal-ruído mínima estabelecida, sendo que o excesso de sinal corresponde ao valor que se tem em relação a essa condição.
No caso da deteção, esse valor mínimo designa-se por limiar de deteção (DT, sigla em inglês para *detection threshold*), que corresponde à relação sinal-ruído requerida para uma probabilidade de deteção de 50%, num determinado período de propagação, sendo conhecida a possibilidade de ocorrerem falsos alarmes. Para que exista excesso de sinal é necessário que sejam cumpridas as seguintes condições.

$$SL - 2TL + TS - NL + DI - DT - RL > 0$$

(se sonar ativo)

$$SL - TL - NL + DI - DT > 0$$

(se sonar passivo)

Os termos das equações dependem do sistema acústico, do meio de propagação e do alvo que se pretende detetar, sendo a unidade dos níveis sonoros o dB, relativos a uma onda plana de referência cuja intensidade corresponde a 1 µPa (Urick, 1983, p. 19). Assim, depende do sonar: o nível sonoro do projetor (SL), o nível de ruído próprio (SN), o índice de diretividade (DI) e o limiar de deteção (DT); do meio dependem: as perdas de transmissão (TL), o nível de reverberação (RL), o ruído total (NL) - que inclui o ruído próprio (SN) - e o ruído ambiente (ANL); finalmente do alvo, a refletividade do alvo (TS) e o nível sonoro (SL), sendo que este apenas se aplica para o sonar passivo. As siglas indicadas correspondem ao usual no jargão em inglês.

2.2. Raytracing

Para a modelação da acústica submarina é necessário a aplicação de uma teoria de traçado dos raios sonoros, sendo nesta ferramenta utilizada a *raytracing*. Não se encontrando outras versões livres disponíveis para utilização, foi adotado o algoritmo, escrito em linguagem MATLAB, de Val Schmidt (2009).
Esta função permite calcular o percurso com refração de um raio, desde que este é emitido pela fonte sonora, proporcionando as coordenadas verticais e horizontais, em pontos de controlo ao longo do percurso, o que permitirá os cálculos das perdas devido aos fenómenos de dispersão e absorção do som, assim como a distância percorrida pelos mesmos raios. Este algoritmo considera que a velocidade do som será a mesma ao longo dessa profundidade, ou seja, considera apenas gradientes verticais da velocidade do som, assumindo iguais valores na horizontal. Apesar de tal não representar perfeitamente a realidade, é uma aproximação necessária e bastante consistente, usual para a modelação da acústica submarina, nos alcances de aplicação da ferramenta (distâncias de alguns até poucas dezenas de quilómetros).

2.3. Nível de reverberação

O estudo das reverberações exige a sua divisão em três componentes distintas, de referir a reverberação de volume, de superfície e de fundo, sendo que cada uma destas exige um processo diferente para a sua resolução.
A reverberação de volume existe devido à presença, na água do mar, de seres vivos ou dispersores, que geram reflexões aleatórias indesejadas que são posteriormente detetadas pelos recetores dos equipamentos acústicos, dificultando a deteção do sinal útil pretendido, ou seja, do alvo. Para ser possível o cálculo é necessário determinar os valores de *backscattering* ou espalhamento de retorno, que é característico de cada profundidade da coluna de água que se pretende estudar, dependendo ainda do tempo e espaço de propagação considerado e da frequência do sonar em questão, além da área geográfica oceânica em questão. Este parâmetro caracteriza-se por uma elevada variabilidade temporal e espacial, devendo-se, sempre que possível, caracterizar a área de operação com a informação oceanográfica disponível, assim como a vida marinha que nela habita.

3. SEARIDER – RESULTADOS OBTIDOS

Sendo o objetivo principal da ferramenta operacional SeaRider a sua utilização a bordo das unidades navais, procurou-se responder às necessidades da comunidade operacional, desenvolvendo-se um programa simples e de fácil utilização.
Para os perfis de temperatura e salinidade utilizou-se a base de dados da NOAA, designada de WOD18, sendo compatível com a linguagem de programação MATLAB. Relativamente ao fundo do mar, partindo da posição geográfica do navio e o rumo a que este navega (ou azimute de interesse), e recorrendo às fórmulas de transporte de coordenadas geodésicas determinou-se o perfil batimétrico, com apoio da batimetria GEBCO (resolução de 0,5 milhas), importante para a determinação das coordenadas verticais e horizontais das interações com o fundo mar e com a superfície.
Para a seleção das fontes dos perfis, o SeaRider permite ao operador selecionar se pretende usar a climatologia, as tabelas para introdução de dados XSV (*eXpendable Sound Velocimeter*) ou XBT (*eXpendable Bathy Thermograph*), ficheiros de dados BT (*Bathy Thermograph*) ou do CTD (*Conductivity Temperature and Depth Sensor*). Devendo preferencialmente utilizar-se os dados das sondas (complementados com a climatologia nas imersões mais profundas), visto que representam melhor a realidade da área de operações no momento em que se realiza a previsão sonar.

No separador "Perfis", o operador poderá ver os perfis de temperatura, salinidade e velocidade som, como mostrado na Fig.1, tendo nesta os perfis sido calculados com uso das bases de dados climatológicas da WOD18 anual, com a resolução de 1º na posição geográfica $36{,}9^0$ N e $39{,}9^0$ W. O perfil de velocidade do som resultante, obtido através dos perfis de temperatura e salinidade, é utilizado para o cálculo do traçado de raios sonoros recorrendo à função "raytrace". Na Fig.2 é apresentado o gráfico de traçado para a posição geográfica anterior.

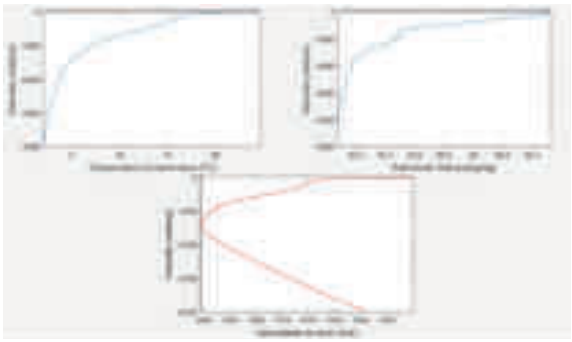


Fig.1. Perfis obtidos das bases de dados climatológicas da WOD18 anual, com a resolução de 1º na posição geográfica $36{,}9^0$ N e $39{,}9^0$ W.

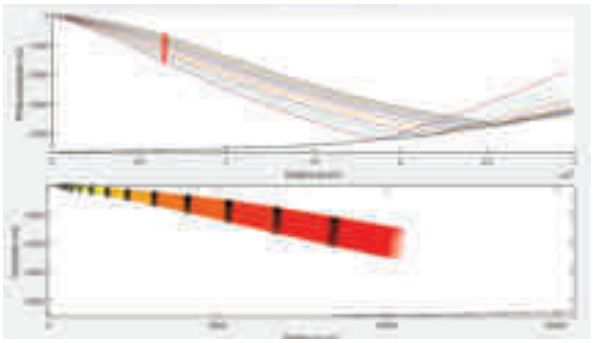


Fig. 2. Determinação dos trajetos percorridos por raios sonoros, utilizando o algoritmo de Val Schmidt.

Através dos pontos de controlo da função anterior, calcula-se as distâncias horizontais e totais de cada raio, importantes para a determinação das perdas por absorção e dispersão geométrica, que contribuem para a determinação das perdas de transmissão, parâmetro de entrada nas equações sonar. A absorção depende de um conjunto de características do meio onde ocorre a propagação acústica, nomeadamente a temperatura, a salinidade, o pH (que é tido, por defeito, como 8,2, valor médio ou típico do oceano, sendo possível introduzir o pH específico da área de operações) e da profundidade; depende ainda do equipamento acústico, mais concretamente da sua frequência de operação. Para resolver este problema foram utilizados os perfis da WOD18, que fornecem a temperatura e a salinidade para praticamente todas as áreas navegáveis, sendo determinado o valor médio destes parâmetros para ser possível o cálculo do coeficiente de absorção. Valores normais para este parâmetro rondam os 0,6 dB/km.

Relativamente às perdas por dispersão geométrica, foram utilizados dois métodos distintos, a dispersão esférico-cilíndrica e a separação vertical de raios.

Estas perdas de transmissão, entre a fonte e qualquer ponto do diagrama de raios (como já referido anteriormente os cálculos são efetuados para os pontos de controlo da função "raytrace" adotada), podem ser determinados através da separação vertical entre raios que são projetados, a incrementos verticais de um grau na fonte, e que relativamente ao alvo ou pontos de controlo em estudo se irão propagar, ao longo da distância, a intervalos verticais variáveis.

O outro método possível de ser selecionado pelo operador é a dispersão esférico-cilíndrica, no qual o utilizador poderá introduzir um fator designado de β ($1 \leq \beta \leq 2$), o qual indica se a dispersão se aproxima mais da esférica ($\beta = 2$) ou da cilíndrica ($\beta = 1$). Como já referido em *2.3. Nível de reverberação*, onde são também resumidas as causas, a natureza variável e as consequências das reverberações, o seu estudo requer a sua divisão em três componentes distintas, de referir a reverberação de volume, de superfície e de fundo, sendo que cada uma destas exige um processo diferente para a sua resolução. Para a reverberação de volume são utilizadas as expressões (ver Urick, 1983, p. 242): $RL_v = SL - 40\log\frac{ct}{2} + S_v + 10\log V$;

$$V = \frac{c\tau}{2}\Psi r^2; \qquad r = \frac{c\,t}{2}$$

SL representa o nível de intensidade do sonar, r a distância de propagação, S_v a *backscattering strength* de volume, V o elemento de volume, c a velocidade do som, t o tempo de propagação em segundos, τ a duração dos impulsos e Ψ o ângulo sólido considerado, sendo o incremento entre raios igual a um grau. O processo para a determinação da reverberação de fundo e de superfície é bastante mais complexo, visto que depende de um conjunto bastante diversificado de fatores. Contudo, depende sempre do nível de intensidade de emissão do sistema acústico do navio, da capacidade refletora da superfície ou do fundo do mar (TS_{rev}) e das perdas de transmissão sofridas pelo sinal sonoro até ao espalhador e também, após a sua reflexão, até ao recetor, ou seja, $2TL_{rev}$, resultando que RL = SL + TSrev − 2TLrev (Hodges, 2010, p. 154), em que TSrev = BSrev + 10log(A). A é a área da superfície ou do fundo intersetadas.

É feita comparação entre o nível de reverberação e o nível de ruído (NL), sendo este a soma nível de ruído ambiental (ANL) e de ruído próprio. Como a deteção sofre mais de um destes fatores, é utilizado nas equações sonar o predominante. O ruído ambiente é calculado tendo em conta o estado do mar, densidade de navegação e precipitação, inseridos pelo operador, através de funções calculadas pelo método dos mínimos quadrados, conforme A. Torres e C. Costa (2019). O ruído próprio é obtido da velocidade da plataforma própria e de um coeficiente de calibração,

relativamente a um "*destroyer* moderno" estudado por Urick, em 1983.
No final são resolvidas as equações sonar, em função do excesso de sinal, sendo apresentado o gráfico correspondente, assim como os valores do alcance de deteção ou contra deteção. Na Fig. 3 é apresentado o gráfico de excesso de sinal.

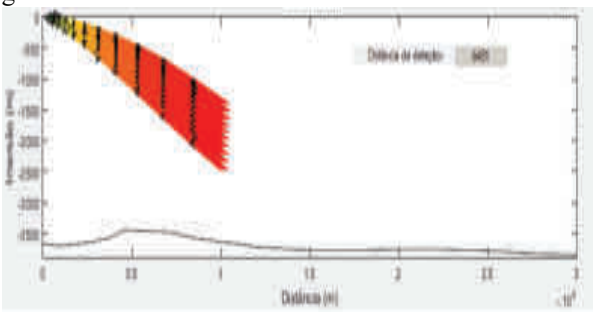


Fig. 3. Gráfico de excesso de sinal e respetivos alcances sonares resultantes aplicação da base de dados anual, com 1° de resolução espacial, para a posição latitude 36,9° N, longitude 39,9° W, para um azimute de 090^0 e distância de 50 milhas, com o sonar a operar em modo ativo.

4. CONCLUSÃO

A acústica submarina é uma área da física bastante complexa e não existe apenas um modelo ou método para a sua modelação. Assim, a previsão sonar exige inicialmente a modelação da acústica e da propagação de raios sonoros no meio submarino, no qual ocorrem um conjunto de fenómenos que afetam o sinal útil recebido pelos recetores dos equipamentos acústicos utilizados a bordo dos navios, neste sentido são fundamentais certos pressupostos empíricos, nomeadamente as equações sonar e a teoria de traçado de raios sonoros.
O desenvolvimento da ferramenta operacional SeaRider exigiu o estudo dos vários modelos existentes atualmente para o cálculo dos diversos parâmetros das equações sonar, e o confronto entre os mesmos no sentido de determinar quais os mais aplicáveis para o objetivo e que produzem resultados mais realistas e rigorosos. Assim, através da introdução de dados baseados nas condições meteorológicas e/ou oceanográficas, características técnicas do equipamento acústico, do alvo e da plataforma própria, o SeaRider resolve as equações sonar e determina os alcances de deteção e contra deteção.
Entre as mais valias podem referir-se a utilização de climatologia global, de uso da batimetria GEBCO global, cálculos automatizados para ruídos ambiente e próprios, bem como para reverberações, permite a entrada de dados de XBT, XSV, BT ou CTD (sobrepondo-se à climatologia) e é fonte aberta permitindo a sua atualização. Complementa e difere do FAPSO, na arquitetura informática, na interação com o utilizador, e nos cálculos de ruído ambiente e de reverberações. A resolução de 0,5 milhas da batimetria GEBCO é pouco adequada ou limitante em áreas de pouca profundidade ou mar costeiro.

Agradecimentos

Agradece-se o interesse e contributo de todos os que ativamente contribuíram e fizeram crescer este projeto, entre eles à Escola Naval, ao CINAV, à ETNA, à Esquadrilha de Subsuperfície e ao Instituto Hidrográfico.

REFERÊNCIAS

COSTA, C. e TORRES, A., (2019). "Ferramenta de Apoio à Previsão Sonar – FAPSO" (resumo alargado). Encontro Anual da Investigação e Desenvolvimento em Ciências Militares 2019 (EAI&DCM 2018), Escola Naval, Alfeite, 27 de novembro de 2019, pp. 6.

GENERAL BATHYMETRIC CHART OF THE OCEANS (2018). *Gridded bathymetry data*, 2018, https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/, acedido em outubro de 2018.

HODGES, R. (2010). *Underwater acoustics. Analysis, design and performance sonar*. John Willey and Sons Ltd., Inglaterra, ed.1.

MARQUES, P. e COSTA, C. (2018). "Método de previsão sonar operacional", 5.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 19-21JUN18, pp. 101-104.

NATIONAL OCEANOGRAPHIC DATA CENTER (2018). *World Ocean Database 2018, Obtido de World Ocean Database 2018 Data Updates:* https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/wod_updates.html, acedido em outubro de 2018.

TORRES, A. e COSTA, C., (2019). "Underwater Ambient Noise – An Estimation Methodology", Inter-Noise 2019 – The 49th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Madrid, June 16-19, pp. 10.

SCHMIDT, V. (2009). *Software raytracing, New Brunswick University, Matworks, https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26253-raytrace?s_tid=srchtitle,*acedido em 9 de outubro de 2020.

URICK, R. (1983). *Principles of underwater sound, United States of America.* McGraw-Hill, Inc., ed.3.

Modelos hidromorfodinâmicos para simulação de estuários em cenários ambientais futuros

Iglesias, I. (1); Pinho, J. L. (2); Bio, A. (1); Avilez-Valente, P. (1,3); Melo, W. (2); Vieira, J. M. (2); Bastos, L. (1,4); Veloso-Gomes, F. (1,3)

(1) Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto, Terminal de Cruzeiros de Leixões, Av. General Norton de Matos s/n, 4450-208 Matosinhos, Portugal iiglesias@ciimar.up.pt.

(2) Centro do Território, Ambiente e Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

(3) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Portugal

(4) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, Portugal

Resumo: Os modelos numéricos são essenciais para simular a hidromorfodinâmica de sistemas estuarinos, permitindo antecipar os efeitos de intervenções antropogénicas, eventos extremos e alterações climáticas. Os modelos apresentam incertezas relacionadas com as simplificações físicas assumidas nas formulações e aproximações nas condições iniciais e nos forçamentos.

O projeto EsCo-Ensembles propõe a utilização de *ensembles* (conjuntos) de modelos numéricos para melhorar as previsões hidromorfodinâmicas em estuários. Foram considerados dois modelos – openTELEMAC-MASCARET e Delft3D – para representar estados atuais e futuros de dois estuários portugueses: Douro e Minho. Os resultados preliminares, obtidos para cenários de alterações climáticas, demonstram um agravamento do nível de inundação associado a eventos extremos e à subida do nível do mar, sem efeito percetível no Douro, mas significativo no Minho, ainda que com alguma diferença entre modelos. A abordagem proposta melhorou a consistência das previsões, contribuindo para uma correta caracterização dos estuários estudados e da sua evolução futura.

Palavras-chave: alterações climáticas, estuários, eventos extremos, hidromorfodinâmica, modelos numéricos.

1. INTRODUÇÃO

As regiões estuarinas apresentam características de elevada importância estratégica sob os pontos de vista ambiental, económico e social. Para apoiar um crescimento sustentável, desenvolver bens e serviços, diminuir a vulnerabilidade a eventos extremos e promover a resiliência destas áreas, é crucial melhorar o conhecimento da sua dinâmica.
Infelizmente, esta dinâmica é normalmente pouco compreendida devido à complexidade dos sistemas e às suas especificidades, associada à falta de monitorização abrangente e sistemática. Os modelos numéricos podem contribuir para melhorar esse conhecimento e simular condições futuras com base em cenários predefinidos, incluindo eventuais efeitos de mudanças climáticas, de eventos extremos e de intervenções antrópicas. No entanto, os seus resultados podem apresentar elevada variabilidade e imprecisões, originando incerteza e afetando a confiança nos seus resultados. Para aferir e diminuir esta incerteza é sugerida a técnica de *ensembles* como uma ferramenta para diminuir eventuais erros na implementação de modelos e melhorar a sua precisão. Particularmente, no projeto EsCo-Ensembles é proposta a utilização desta técnica para melhorar as previsões hidromorfodinâmicas para dois dos principais estuários portugueses: Douro e Minho.

2. ÁREAS DE ESTUDO

O estuário do rio Douro é um estuário urbano delimitado por duas grandes cidades: Porto e Vila Nova de Gaia. É um estuário estreito, altamente dinâmico, com regimes torrenciais que, por vezes, produzem fortes correntes e inundações severas que causam danos importantes às populações ribeirinhas e constrangimentos à navegação. A sua dinâmica é forçada principalmente por fluxos fluviais, sendo muito dependente das condições naturais altamente variáveis e da necessidade de produção de energia hidroelétrica das barragens construídas ao longo do percurso do rio. A construção de um quebra-mar destacado e a extensão do quebra-mar norte (por volta de 2008) na sua embocadura tem interferido nos padrões sedimentares e hidrodinâmicos locais. A restinga tornou-se mais robusta, com menor probabilidade de rotura durante eventos de cheias, pelo que se anteveem impactos mais severos de inundações a montante, com perdas económicas e

danos estruturais (Bastos *et al.,* 2012; Iglesias *et al.,* 2019a).

Em contrapartida, o estuário do rio Minho é um estuário menos urbanizado que apresenta uma grande diversidade de habitats. É por isso protegido por estatutos de conservação portugueses e espanhóis, apresentando um baixo nível de industrialização nas suas margens. Um dos principais problemas deste estuário é o forte assoreamento, relacionado com a elevada deposição de sedimentos favorecida pelas baixas velocidades de correntes. Os fluxos fluviais são determinados pelas descargas na barragem a montante que tem permitido reduzir a frequência e intensidade das cheias e consequentes inundações. Os padrões morfodinâmicos gerados pelo assoreamento têm causado restrições batimétricas à navegação, tal como o estrangulamento de vias de navegação, intensas variações de batimetria e o aparecimento de ilhas e bancos de areia que emergem durante a baixa-mar (Iglesias *et al.,* 2019a; Melo *et al.,* 2020).

3. MODELOS NUMÉRICOS

Os modelos numéricos selecionados para simular os estados atuais e futuros dos dois estuários descritos são o openTELEMAC-MASCARET (OTM) e o Delft3D. Estes modelos, já validados em Iglesias *et al.* (2019a), Iglesias *et al.* (2019b) e Melo *et al.* (2020), têm demonstrado capacidade de representar com precisão os padrões hidrodinâmicos estuarinos e os níveis de elevação da superfície da água durante eventos extremos.

Neste trabalho foram simulados os cenários apresentados na Tabela I. Para a definição destes cenários foram calculados caudais de ponta de cheia para períodos de retorno de 100 e 1000 anos, assumindo-se que as distribuições de probabilidade dos caudais em Foz do Mouro (Minho) e Crestuma (Douro) seguem a distribuição de Gumbel. Não foram consideradas eventuais alterações nos caudais de ponta de cheia decorrentes de alterações das condições futuras de precipitação na bacia ou na operação das barragens durante eventos extremos. De facto, as condições de operação das barragens durante a ocorrência de cheias são atualmente condicionantes para os valores dos fluxos fluviais, pelo que se entende razoável não considerar nesta fase da investigação, eventuais alterações devido a alterações climáticas nos caudais fluviais extremos. A elevação na fronteira oceânica foi introduzida como valor constante, considerando os valores extremos de nível do mar calculados por Vousdoukas *et al.* (2017) para as projeções dos cenários de emissão de gases com efeito estufa RCP 4.5 e 8.5 para o horizonte temporal de 2100. Os valores extremos de nível do mar incluem o efeito de subida do nível médio do mar, a maré, a agitação (*wave set-up*) e a sobrelevação meteorológica. Os resultados das simulações são processados quando se atinge um regime permanente.

Tabela I: Simulações numéricas

Simulação	Período de retorno (anos)	Caudal (m^3/s)		Cenário	Elevação na fronteira oceânica (m)
		Minho	Douro		
S1	100	6037.7	17634	Histórico	3.0
S2		6037.7	17634	RCP 4.5 2100	3.5
S3		6037.7	17634	RCP 8.5 2100	3.7
S4	1000	8262.13	24629	Histórico	3.3
S5		8262.13	24629	RCP 4.5 2100	3.7
S6		8262.13	24629	RCP 8.5 2100	4

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstraram uma diferença assinalável entre os dois estuários no comportamento devido à elevação do nível do mar associado às alterações climáticas.

O estuário do rio Douro apresenta campos de velocidades com poucas variações quando comparados com as simulações que consideraram valores históricos de elevação na fronteira oceânica e o mesmo caudal imposto (S1 vs. S2 e S3; S4 vs. S5 e S6). As diferenças resultam do caudal imposto, com diferença na intensidade da corrente na zona entre o molhe norte e o quebra-mar destacado, assim como no interior do estuário (Fig. 1). A comparação entre os modelos mostra que o comportamento é muito semelhante, em termos de distribuição e magnitude da velocidade, só apresentando alguma diferença sobre a restinga, já que o Delft3D mostra galgamento desta estrutura para os dois caudais fluviais considerados, enquanto o OTM só apresenta galgamento para caudais fluviais associados a períodos de retorno de 1000 anos. Quando analisada a elevação da superfície livre, o comportamento é muito similar, sendo praticamente constantes os valores para os cenários que apresentam o mesmo período de retorno, surgindo as diferenças quando

são considerados caudais distintos (Fig. 2). Os dois modelos apresentam resultados similares na distribuição da elevação mas com uma diferença média de 1 m.

No estuário do rio Minho as velocidades apresentam também um comportamento semelhante às obtidas no estuário do rio Douro, com diferenças associadas ao caudal e não tanto à elevação imposta na fronteira oceânica. As diferenças são mais significativas nas zonas mais estreitas do estuário (embocadura e áreas a montante e jusante da ilha da Boega, Fig. 3). A comparação entre os dois modelos não revela diferenças significativas entre os resultados obtidos.

Analisando os resultados relativos à elevação do nível do mar imposta nos cenários considerados, estes evidenciam uma diferença entre os distintos níveis associados com as alterações climáticas. Este efeito é mais claro no baixo estuário, a jusante da ilha da Boega (~8.5 km, Fig. 4a). Esta diferença deve-se aos caudais de cheia mais baixos nesta bacia, mas também à própria morfologia estuarina com o alargamento do estuário a montante da foz.

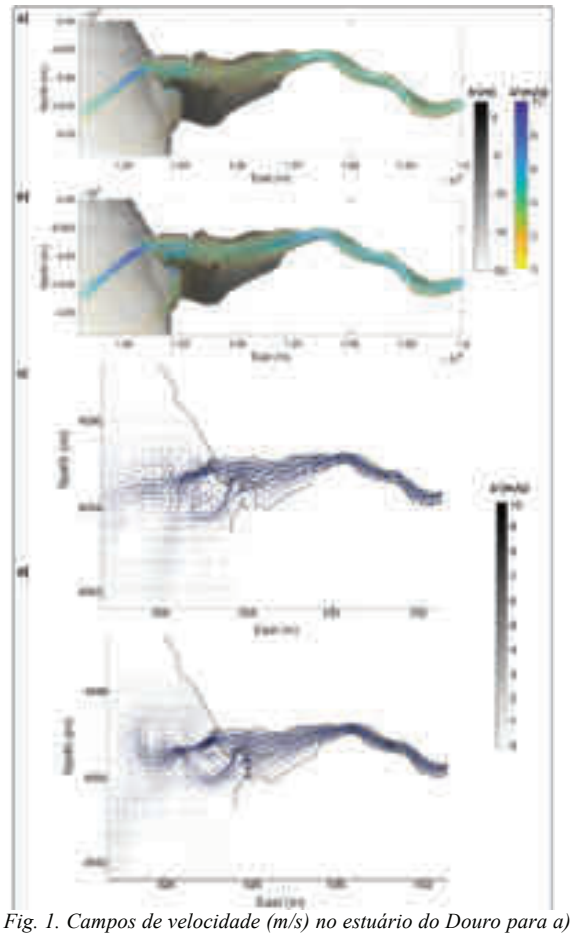


Fig. 1. Campos de velocidade (m/s) no estuário do Douro para a) cenário S3 – OTM, b) cenário S6 – OTM, c) cenário S3 – Delft3D, d) cenário S6 – Delft3D.

Este alargamento permite escoamentos intensos com menor sobrelevação da superfície livre, fazendo com que as correntes sejam menos intensas que as que ocorrem no estuário do rio Douro. No interior do estuário, com o OTM, verificam-se aumentos na elevação da zona interior do estuário entre 0.4 m e 0.6 m para as simulações dos cenários RCP 4.5 e 8.5, respetivamente, quando comparadas com as elevações das simulações históricas e considerando o caudal associado ao período de retorno dos 100 anos (cenários S1, S2 e S3). Para os cenários S4, S5 e S6, obtêm-se elevações em torno dos 0.3 m e 0.5 m para os cenários RCP 4.5 e 8.5, respetivamente. Com o modelo Delft3D estas variações são ligeiramente inferiores mas da mesma ordem.

As elevações obtidas com os dois modelos presentam pois certas diferenças, resultado do processo de calibração distinto e dos respetivos valores dos parâmetros de calibração adotados em cada um dos modelos.

Encontra-se em desenvolvimento a elaboração de novas versões dos dois modelos de modo a que se possam aproximar os respetivos resultados e assim aplicar a técnica de *ensembles* proposta em Iglesias *et al.* (2019a). Isto será feito por via da adoção de valores de parâmetros de calibração idênticos nos dois modelos de forma a fornecer uma única previsão do efeito das alterações climáticas para os dois estuários estudados.

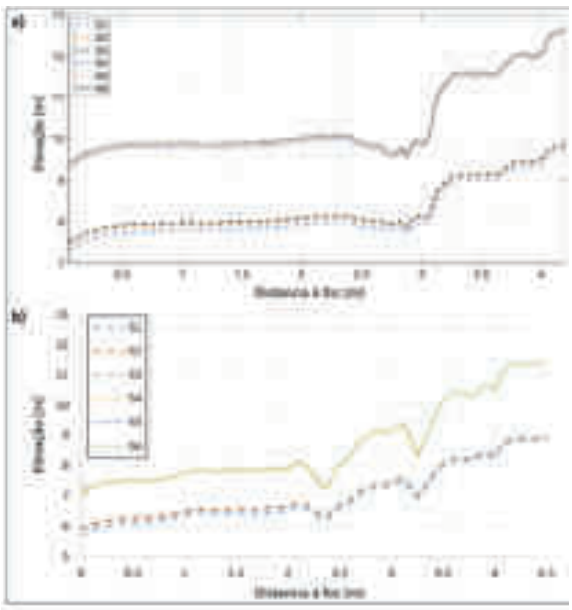


Fig. 2. Elevação da superfície livre (m) para um perfil longitudinal entre a boca do estuário e a Ponte Luíz I: a) OTM, b) Delft3D.

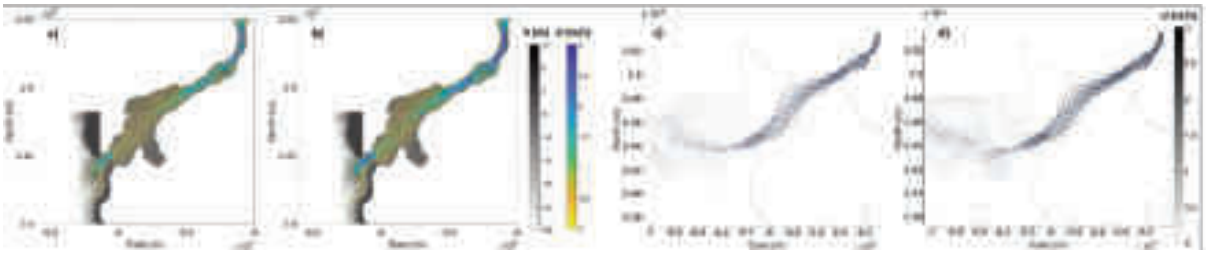


Fig. 3. Campos de velocidade (m/s) no estuário do Minho para a) cenário S3 – OTM, b) cenário S6 – OTM, c) cenário S3 – Delft3D, d) cenário S6 – Delft3D

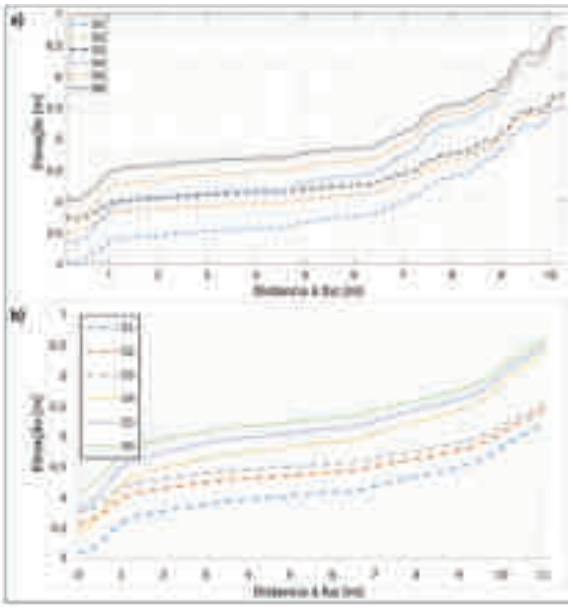


Fig. 4. Elevação da superfície livre (m) para um perfil longitudinal entre a boca do estuário e 1 km ao montante da ilha da Boega: a) OTM, b) Delft3D.

5. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos no âmbito do projeto EsCo-Ensembles para diferentes cenários de alterações climáticas têm demonstrado situações diferentes para o estuário do rio Douro e para o estuário do rio Minho. Para o estuário do rio Minho foi demonstrado que o aumento médio do nível do mar reduzirá a velocidade das correntes mas aumentará as áreas inundadas devido a este estuário ser dominado pela componente marítima. Por isso, é esperado um agravamento significativo do nível de inundação associado a eventos extremos e à subida do nível do mar neste estuário. Este efeito é atenuado no estuário do rio Douro quando se considera a ocorrência de cheias, visto que se trata de um estuário onde a componente fluvial é mais importante que a marítima quando são considerados altos caudais. Não obstante, as simulações de cheias propostas para o estuário do Douro mostram que os caudais simulados podem produzir perdas económicas e danos materiais nas suas margens.

A técnica dos *ensembles*, já aplicada em Iglesias *et al.* (2019a), tem demonstrado que esta abordagem melhora a consistência das previsões contribuindo para uma correta caracterização hidromorfodinâmica atual dos estuários estudados. Esta técnica será aplicada após o afinamento dos modelos, fornecendo uma única solução para representar a sua evolução futura e o efeito dos eventos extremos e das alterações climáticas nestas duas regiões estuarinas.

Agradecimentos

Ao fundo estratégico UIDB/04423/2020 e UIDP/04423/2020 através de fundos nacionais fornecidos pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Ao projeto EsCo-Ensembles (PTDC/ECI-EGC/30877/2017), cofinanciado pelo NORTE 2020, Portugal 2020 e pela UE através do FEDER, e pela FCT através de agências nacionais. À EDP e à Confederación Hidrográfica Miño-Sil pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS

Bastos, L., Bio, A., Pinho, J.L., Granja, H., da Silva, A. (2012). Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 109, 53–69.

Iglesias, I., Venancio, S., Pinho, J.L., Avilez-Valente, P. e J. Vieira (2019a). Two models solutions for the Douro Estuary: flood risk assessment and breakwater effects. *Estuaries and Coasts,* 42(2), 348-364.

Iglesias, I., Avilez-Valente, P., Bio, A. e Bastos L. (2019b). Modelling the main hydrodynamic patterns in shallow water estuaries: The Minho case study. *Water*, 11(5), 1040, 1-25.

Melo, W., Pinho, J., Iglesias, I., Bio, A., Avilez-Valente, P., Vieira, J., Bastos, L. e Veloso-Gomes, F. (2020). Hydro- and Morphodynamic Impacts of Sea Level Rise: The Minho Estuary Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering,* 8(6), 441.

Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M. e Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*, 5, 304-323.

Otimização das operações de aquacultura com previsões hidrodinâmicas de alta resolução

Bartolomeu, S. (1); Severino, R. (2); Rodrigues, J. (1); Leitão, P. C. (1); Leitão, J. C. (1)

(1) HIDROMOD, Rua Rui Teles Palhinha, nº 4, 1º. 2740-278, Porto Salvo.

E-mail: sofia.bartolomeu@hidromod.com

(2) PVL, Piscicultura do Vale da Lama, Lda. Vale da Lama, Odiáxere

Resumo: No âmbito do projeto VALORMAR, a HIDROMOD desenvolveu um sistema de previsão que permite reunir dados meteo-oceanográficos para apoiar a atividade aquícola em Portugal. Um dos focos de análise é a Ria de Alvor, onde está localizada a Piscicultura Vale da Lama (PVL). A PVL dedica-se à produção de dourada e robalo num sistema de tanques que utiliza a água que é bombeada da Ria. A monitorização e controle do nível de água e da temperatura da água representam um papel importante na gestão e otimização do sistema de bombagem. Neste sentido, foi implementado um modelo hidrodinâmico de alta resolução, em modo operacional, que abrange a área de interesse, fornecendo previsões nível de água e temperatura para um horizonte de 5 dias. A utilização desta informação, permitiu à PVL uma redução significativa na duração da bombagem. De acordo com a PVL, os resultados preliminares indicam uma redução média de 30% no tempo de bombeamento. Essa redução traduz-se em menos energia gasta, mas também menos variações na temperatura da água dentro dos tanques.

Palavras-chave: monitorização, nível do mar, previsão, temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura nacional é uma alternativa às formas tradicionais de abastecimento de pescado, sendo Portugal o maior consumidor per capita de peixe da UE e tendo acesso também ao mercado comunitário, altamente deficitário em produtos de pesca (https://www.eumofa.eu/documents/20178/314856/EN_The+EU+fish+market_2019.pdf). No nosso país, são já produzidas várias espécies em aquicultura, destacando-se entre eles a produção de bivalves, rodovalho, robalos e douradas. Com condições geográficas e climáticas adequadas a estas atividades, há seguramente lugar para o desenvolvimento sustentável desta atividade, numa perspetiva de gestão integrada das zonas costeiras, de norte a sul do país.

Neste sentido surgiu o projeto ValorMAR focado na valorização de recursos marinhos, através da investigação, desenvolvimento e demonstração de novos produtos e da melhoria de processos produtivos através do desenvolvimento de novas tecnologias. Inserida na vertente da tecnologia, a HIDROMOD desenvolveu um sistema de previsão que permite a recolha de dados meteo-oceanográficos de apoio à atividade aquícola em Portugal. Do lado das empresas que podiam beneficiar com um sistema de previsão encontrou-se a Piscicultura Vale da Lama (PVL). A PVL, localizada no interior da Ria de Alvor, dedica-se à produção de dourada e robalo através de uma rede de lagoas (antigas salinas) que utilizam água bombeada do sistema lagunar, que permite a renovação da água nos tanques. O monitoramento e controle da temperatura e do nível da água desempenham um papel importante no gerenciamento e otimização do sistema de bombeamento.

A otimização da produção aquícola passa pela implementação de aquacultura de precisão através da aplicação de ferramentas tecnologicamente avançadas. A produtividade e a qualidade das explorações aquícolas são influenciadas por diversos processos que ocorrem no ambiente aquático. Por exemplo, a previsão da temperatura da água permite adequar a quantidade de alimentação a dar aos peixes. A previsão da variação do nível do mar permite otimizar a energia gasta com bombagem ou planear bombagem para quando a qualidade da água é mais favorável.

Deste modo, no âmbito do projeto criou-se uma ligação entre a parte tecnológica e a parte operacional com o objetivo de melhorar todo o sistema de bombagem da PVL. Para tal, foi necessário implementar um modelo de alta resolução para a Ria de Alvor, que integra os processos locais permitindo a correta propagação da maré até ao local da tomada de água da PVL.

O modelo foi implementado no sistema de previsão permitindo, em tempo real, a comparação com os dados medidos. O sistema de previsão é suportado pela plataforma AQUASAFE que é responsável pela centralização de toda a informação, controlo dos fluxos de informação e gestão dos modelos de previsão. Reunida toda a informação nesta plataforma, a informação pode ser consultada em

dashboards na versão desktop ou nos relatórios que são enviados diariamente por email.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ria de Alvor é uma lagoa costeira localizado na Baía de Lagos que cobre uma área total de 15 km2, no sul do Algarve. Tem uma entrada de água doce constituída por quatro afluentes da bacia hidrográfica, na vertente sul da Serra de Monchique (ribeiras de Odiáxere e do Arão a poente e ribeiras do Farelo e da Torre a nascente) que conferem à Ria a sua característica forma de U (Mateus *et al*., 2016). A entrada de água doce, principalmente das ribeiras, a poente, apresenta uma forte variação sazonal, sendo torrencial nos meses húmidos e seca nos meses de verão (0-1 m^3s^1).

Relativamente às marés, estas são classificadas como semi-diurnas, com amplitudes da maré que variam entre os 1.0 (mínimo em marés mortas) e 3.7 metros (máximo em marés vivas), tendo por base a tabela de maré do Instituto Hidrográfico para 2020 na Baía de Lagos.

A Ria de Alvor apresenta uma profundidade máxima com cerca de 2 metros fora do canal de navegação, que foi dragado para garantir a navegabilidade até ao porto de recreio e porto de pesca de Alvor. Durante a maré alta, estima-se que a área total inundada é de 3 km^2 enquanto na maré baixa é de 1 km^2, expondo grande parte do leito da lagoa e retendo água residual nos canais internos e riachos. Deste modo, a renovação da água é quase total na parte externa da Ria, provocando intensas correntes de maré (Quintino & Rodrigues, 1989). O tempo de descarga aliado à topografia da Ria constitui um fator modulador a nível da hidrodinâmica do sistema.

3. METODOLOGIA

O modelo de alta resolução implementado para a Ria de Alvor (MOHID – Ria de Alvor) apresenta uma resolução horizontal de 40 metros. O modelo é atualizado diariamente com novas condições fronteiras. É forçado na fronteira aberta oceânica por resultados a cada 900 segundos da solução PCOMS 3D, forçado à superfície por previsões meteorológicas de modelos de alta resolução e na fronteira aberta terreste impôs-se a descarga dos principais afluentes. O modelo foi validado para o local do marégrafo de Lagos e para o local da tomada de água da PVL.

O PCOMS 3D é um modelo operacional que, utiliza o modelo numérico MOHID e simula a circulação geral da Costa Portuguesa, sendo corrido em modo de previsão pela HIDROMOD (Mateus *et al*., 2012). Tem uma malha de resolução horizontal de cerca de 6 km e fornece previsões para os próximos 5.5 dias, atualizadas diariamente. A condição de fronteira aberta é definida com base numa solução que resulta da soma linear da solução global de maré FES2014 e da solução da baixa frequência CMEMS Global.

Após a implementação, o modelo da Ria de Alvor foi validado para o nível da superfície livre e a temperatura à superfície, utilizando dados obtidos localmente pela PVL.

Desde a implementação do sistema de previsão, a PVL disponibilizou o acesso aos dados em tempo real de nível e temperatura da água em diferentes locais da aquicultura. Os dados são fornecidos com uma frequência de 5 minutos e a cada 10 minutos os dados são atualizados no AQUASAFE.

4. RESULTADOS

Avaliando o desempenho do modelo ao longo de 6 meses (de 01 de março a 01 de setembro de 2020), verifica-se que o nível no local da tomada de água foi previsto com uma incerteza de 14 cm e correlação de 0.97 e a temperatura da água com uma incerteza de 1.7º e uma correlação de 0.78. O modelo foi ainda validado para o local do marégrafo de Lagos. O nível do mar previsto tem uma incerteza de 12 cm e uma correlação de 0.99.

4.1. Otimização da bombagem

Para a otimização na bombagem, a previsão mais revelante é o nível máximo atingido em preia-mar para os próximos 2-3 dias. Este nível influencia o nível de arranque e paragem da bombagem, e consequentemente, o tempo total de funcionamento.

Avaliando apenas essas situações de preia-mar, as previsões do modelo de alta resolução foram fornecidas com um erro de 9 cm, durante os 6 meses referidos acima, enquanto as preia-mares obtidas da tabela de maré do Instituto Hidrográfico (IH) de Lagos apresentam uma incerteza de 15 cm (RMSE). A informação é fornecida em forma de tabela (tabela de maré do IH para Lagos e tabela de maré obtida pela previsão de alta resolução no local da tomada de água), num relatório que é enviado diariamente por email, como mostra a Figura 1.

A previsão do nível gerada pelo modelo de alta resolução permite a correta propagação da maré no



Fig. 1. Tabela de maré de Lagos do Instituto hidrográfico para 2020 ([2]), com a respetiva sobreelevação ([3]) calculada com base no modelo hidrodinâmico PCOMS3D. Eventos de maré ([4]) no local da tomada de água calculada com base no modelo hidrodinâmico para a Ria de Alvor.

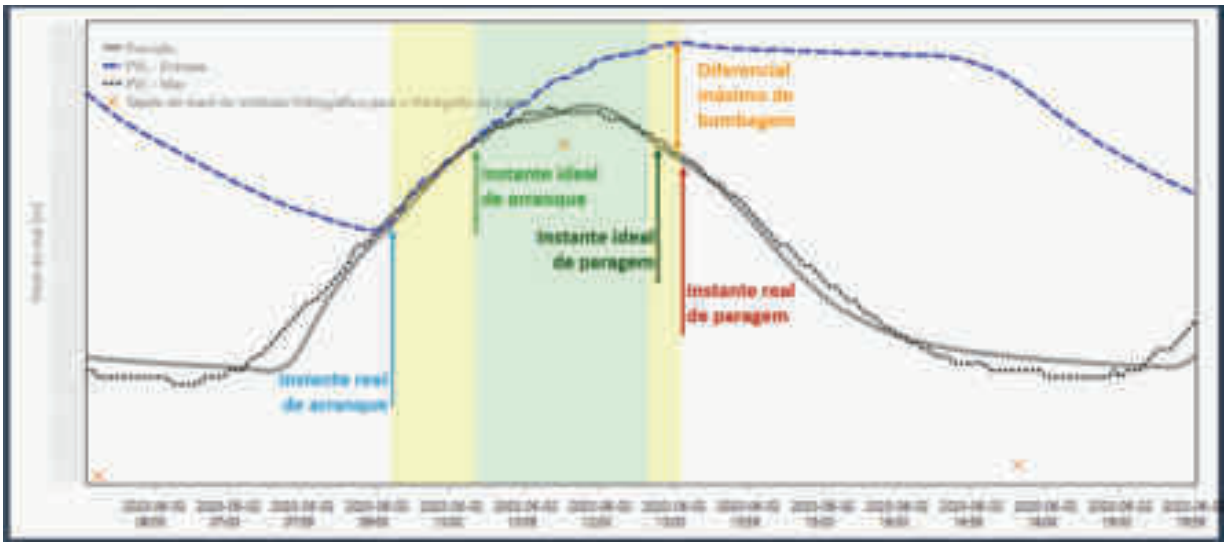


Fig. 2. Exemplo de uma operação de bombagem numa preia-mar. O nível da água medido pela PVL no local da tomada de água está assinalado a preto e o nível da água na vala de entrada está assinalada a azul. A linha a cinzento representa a previsão do modelo de alta resolução e as cruzes a laranja representam a tabela de maré para o marégrafo de Lagos do Instituto Hidrográfico. Na imagem estão marcados os instantes de arranque e paragem que efetivamente ocorreram (o período total inclui o sombreado verde e amarelo) e os instantes de arranque e paragem ideais para otimizar a bombagem (o período total está representado com sombreado a verde). A seta a laranja assinala o diferencial máximo que pode ser bombado.

interior da ria, que, tal como se pode ver na Figura 1, apresenta um comportamento da maré bem diferente do marégrafo de Lagos. A informação da tabela de maré de Lagos, que anteriormente era utilizada na gestão do sistema de bombagem, não inclui o efeito da maré meteorológica nem a distorção e desfasamento da maré desde o marégrafo de Lagos até ao local da aquacultura, disponibilizando uma informação de nível e instante que não é adequada ao local da aquacultura. Avaliando os instantes de preia-mar, as preia-mares da tabela de maré têm uma diferença média com as medidas de 13 cm enquanto o modelo de alta resolução tem um erro médio de 6 cm. Para além desta diferença no nível (como se pode ver na Figura 2), existe uma diferença significativa na fase da maré que pode chegar aos 60 minutos. A combinação da diferença no nível e nos minutos que um reflexo direto na duração da bombagem, e por isso, a precisão em nível e em tempo fornecida para a preia-mar é tão importante.

Adaptando a bombagem às previsões de nível para as próximas preias-mar, a PVL conseguiu uma otimização significativa da sua tomada de água. A capacidade de conhecer o nível e hora/data da preia-mar com uma precisão significativa, permite ajustar o nível de arranque e paragem da bombagem, identificando o melhor período de funcionamento, reduzindo assim o período total de funcionamento e otimizando a bombagem.

Este planeamento, em algumas situações de maré, permite ainda renovar maior quantidade de água. Outra vantagem é conhecer previamente a temperatura da água que será bombada. Em algumas situações é benéfico não bombear água, por exemplo, devido ao forte gradiente entre a água nos tanques e na tomada de água. Por outro lado, poderá haver situações em que seja necessário reajustar o nível de arranque e nível de paragem para introduzir a água com uma temperatura específica, por exemplo, introduzir temperatura mais elevada para otimizar a produção de peixe.

A Figura 2 retrata o funcionamento da bombagem, num evento de preia-mar, sem otimização na bombagem. Durante o período inicial, a entrada de água acompanha a subida do nível da maré, facilitada pela força da gravidade, que atua no mesmo sentido. Nesta fase, a entrada de água pode ser realizada unicamente pela força da gravidade, que, apesar de sofrer um ligeiro atraso na subida do nível, consegue introduzir quantidades semelhantes de água. O arranque da bombagem pode então ser atrasado e ser acionado mais próximo do pico da maré, provocando nesse instante a entrada de maior quantidade de água. A bombagem deve terminar minutos antes de ser atingido o diferencial máximo da bombagem, para evitar o seu funcionamento quando a bombagem já não consegue introduzir quantidades de água significativos e já não seja rentável. A previsão do nível do mar no local da tomada de água permite quantificar o atraso no nível de arranque e o adiantamento no nível de paragem. A combinação destes dois níveis permite a otimização da bombagem.

5. CONCLUSÕES

O sistema de previsão de dados meteo-oceanográficos desenvolvida para a PVL no âmbito do projeto ValorMAR, permitiu dar um apoio no gerenciamento e otimização do sistema de

bombeamento. Esta implementação do sistema de previsão operacional AQUASAFE permite também o acesso a informação constantemente atualizada e o envio diário dos relatórios à hora agenda.

A informação detalhada e implementada para a PVL permite no final fornecer as previsões precisas para que possam ser utilizadas nas suas operações diárias. Usando essas informações, a PVL obteve uma redução significativa na duração do bombeamento, com resultados preliminares que mostram uma redução média de 30% no tempo de bombeamento. Essa redução tem reflexos na energia gasta e na menor redução da temperatura da água na exploração.

Agradecimentos

À PVL pelo fornecimento de toda os dados utilizados e trabalho conjunto. Ao Instituto Hidrográfico pelo fornecimento da tabela de maré para o marégrafo de Lagos. Ao projeto ValorMAR (24517 apoiados por Compete2020, Lisboa2020, CRESC Algarve2020, PT2020 e UE através de FEDER / FEDER).

REFERÊNCIAS

Mateus, M., Riflet, G., Chambel, P., Fernandes, L., Fernandes, R., Juliano, M., Campuzano, F.,de Pablo, H., Neves, R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: prod-ucts and services. *Ocean Sci*. 8 (4), 713–732.

Mateus, M., Almeida, D., Simonson, W., Felgueiras, M., Banza, P., Batty, L. (2016). Conflictive uses of coastal areas: A case study in a southern European coastal lagoon (Ria de Alvor, Portugal). *Ocean & Coastal Management*. 132, 90-100.

Quintino, V., Rodrigues, A.M. (1989). Environment gradients and distribution of macrozoobenthos in three Portuguese coastal systems: Obidos, Albufeira and Alvor. In: Ryland, J.S., Tyler, P.A. (Eds.), *Reproduction, Genetics, and Distribution of Marine Organisms. Olsen & Olsen Fredensborg*, 441e450.

Validação do protótipo do sistema To-SEAlert para o porto da Ericeira. Depressões Elsa e Fabien

Zózimo, A. C. (1); Fortes, C. J. (1); Pinheiro, L. V. (1)

(1) LNEC, Av. do Brasil, 1700-066, Lisboa, +351.21.8443756, aczozimo@lnec.pt.

Resumo: Neste trabalho é efetuada a validação do protótipo To-SEAlert para o porto da Ericeira. Para a validação dos resultados do modelo SWAN foram utilizados os dados de duas boias situadas ao largo da Nazaré e para a validação das previsões do sistema de cálculo do grau de risco foram simuladas as depressões Elsa e Fabien (ocorridas em dezembro de 2019) e que foram responsáveis por fortes danos na cabeça do molhe do porto da Ericeira. Verificou-se uma boa concordância entre os dados das boias e os resultados do modelo SWAN, tendo no entanto o modelo reproduzido melhor a direção média e a altura significativa do que o período de pico. Relativamente aos valores de galgamento, os resultados obtidos na simulação das depressões Elsa e Fabien estiveram em concordância com os valores referidos na literatura como causadores de danos nas estruturas.

Palavras-chave: alerta, depressão Elsa, depressão Faien, galgamentos, To-SEAlert.

1. INTRODUÇÃO

O sistema HIDRALERTA (Poseiro *et al*., 2017; Poseiro, 2019) é um sistema de previsão, de alerta e de avaliação do risco da ocorrência de situações de emergência associadas aos efeitos da agitação marítima (galgamento, inundação, navegação) em zonas costeiras e portuárias. Fornece previsões, com 72 horas de antecipação, das características da agitação marítima e dos níveis de risco.

Por forma a melhorar alguns aspetos do sistema HIDRALERTA, está em curso o projeto To-SEAlert. O projeto To-SEAlert tem por objetivo a inclusão de um conjunto de ferramentas/metodologias de modo a tornar o sistema HIDRALERTA mais eficiente, fiável e robusto. Essas ferramentas incluem o uso: de imagens de satélite e de vídeo, da modelação numérica e física, e de métodos quantitativos e probabilísticos para a avaliação do risco e planeamento de emergência.

Neste trabalho, após as descrições resumidas do porto da Ericeira e do protótipo do To-SEAlert para o porto da Ericeira, são apresentados a metodologia e os resultados da validação do protótipo. Por último, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

2. PORTO DA ERICEIRA

O porto da Ericeira está localizado na costa oeste de Portugal continental, a cerca de 30 km a norte de Lisboa e tem como objetivo principal o abrigo a uma pequena frota de pesca artesanal. É um porto de reduzidas dimensões constituído por um molhe, que também funciona como cais de acostagem, e por uma rampa de varadouro. O molhe-cais é um quebra-mar de taludes com 430 m de comprimento, orientado a sudoeste. Desde o início da sua construção, em 1973, foram várias as vicissitudes por que passou esta estrutura. Após a sua destruição, em 1987, por um temporal, passou por várias obras de reabilitação, a última das quais terminou em 2019 (reabilitação da cabeça do quebra-mar). Infelizmente, após a finalização da obra, as depressões Elsa e Fabien (dezembro de 2019), conduziram a um dano significativo na cabeça do quebra-mar (Fig. 1), pelo que haverá brevemente a necessidade de proceder a novas obras de reabilitação.



Fig. 1. Cabeça do molhe do porto da Ericeira, onde se pode verificar que os cubos Antifer do manto desapareceram.

3. PROTÓTIPO DO TO-SEALERT PARA O PORTO DA ERICEIRA

A implementação do protótipo do To-SEAlert para o porto da Ericeira envolveu a adaptação dos modelos de caracterização da agitação marítima ao porto da Ericeira (definição e construção de malhas, recolha de informação batimétrica), a identificação dos equipamentos e usos que poderão estar em perigo em caso de galgamento e a adaptação da arquitetura do sistema HIDRALERTA.

O sistema está implementado numa plataforma web e é constituído por quatro módulos.

No módulo I são obtidas as previsões de agitação marítima junto às estruturas/zonas costeiras, através

da propagação, com os modelos SWAN (SWAN Team, 2006) e DREAMS (Fortes, 2002), das características da agitação marítima ao largo da zona de estudo e do campo de ventos disponibilizadas pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

O módulo II utiliza a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005) para determinar o caudal médio galgado (q) correspondente a uma dada condição de agitação marítima/nível de água verificada em cada secção das estruturas analisadas na zona de estudo.

O módulo III é responsável pela avaliação do risco de galgamento. Atualmente, a avaliação de risco é efetuada através do estabelecimento dos caudais críticos de galgamento associados a cada secção da estrutura, tendo em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada. Estes limiares são estabelecidos com base nas recomendações de Pullen *et al.* (2007) e em informação das autoridades locais.

O módulo IV permite a previsão de situações de emergência para uma determinada área de interesse e permitirá futuramente o envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis. Este módulo cria e disponibiliza todos os resultados do sistema através de uma plataforma web e emite diariamente um boletim, que agrega a informação correspondente aos alertas para o período de previsão.

4. VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO PARA O PORTO DA ERICEIRA

Para a validação dos resultados do modelo SWAN foram utilizados os dados das duas boias situadas ao largo da Nazaré e para a validação das previsões do sistema de cálculo do grau de risco foram simuladas as depressões Elsa e Fabien (ocorridas entre 18 e 22 de dezembro de 2019) que foram responsáveis por fortes danos na cabeça do molhe do porto da Ericeira.

4.1. Validação do modelo SWAN

A validação dos resultados do modelo SWAN foi efetuada com i) onze anos de dados (2009-2019) das boias Oceânica (profundidade de 2000 m) e Costeira (profundidade de 90 m) (Fig. 2) localizadas ao largo da Nazaré e ii) dados dos dias 15 a 23 de dezembro de 2019 (envolvente do período das depressões Elsa e Fabien). As boias Oceânica e Costeira são operadas/mantidas pelo Instituto Hidrográfico.

Na propagação da agitação desde o largo até à costa, foram utilizadas três malhas encaixadas (Fig. 2) para o modelo SWAN (Main, Nested e Nested1). As condições de fronteira foram obtidas através dos dados do ERA5 (agitação marítima, campo de ventos e *mean sea level*). A previsão da maré astronómica foi obtida com o modelo XTIDE (Flatter, 1998).

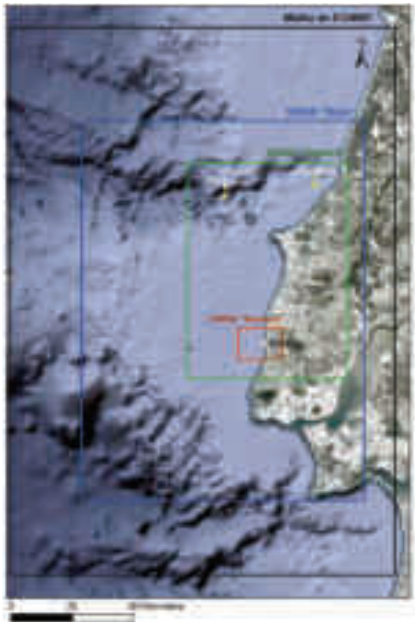


Fig. 2. Malha do ECMWF, domínios computacionais do SWAN localização das boias Oceânica e Costeira ao largo da Nazaré

Para a comparação dos dados das boias com os resultados do modelo SWAN para o período entre 2009 e 2019, foram efetuadas simulações com um intervalo de seis horas, perfazendo um total de 16 068 simulações. Como os registos das boias apresentam algumas falhas, os pares de resultados SWAN/dados da boia foram 11 820 e 8 390 para as boias Oceânica e Costeira, respetivamente. À data das depressões Elsa e Fabien apenas a boia Costeira efetuou registos. Para o período das depressões, foram efetuadas simulações com o intervalo de 1 h, obtendo-se um total de 143 pares de resultados SWAN/dados da boia. Foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos para a comparação entre os resultados do modelo SWAN e os dados das boias: média, desvio padrão, *Root Mean Square Error* (*RMSE*), *Scatter Index* (*SI*), *BIAS* e coeficiente de correlação (r). Para a altura significativa de onda (H_s) e o período de pico (T_p) foram utilizadas as seguintes formulações:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(S_i - O_i)^2} \quad \text{(E1)} \quad BIAS = \bar{S} - \bar{O} \quad \text{(E2)}$$

$$SI = RMSE/\bar{O} \quad \text{(E3)} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^{N}[(O_i-\bar{O})(S_i-\bar{S})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O})^2 \sum(S_i-\bar{S})^2}} \quad \text{(E4)}$$

em que S_i são os valores estimados numericamente, O_i são os valores medidos e $\bar{S}$ e $\bar{o}$ são, respetivamente, a média dos valores estimados e dos valores medidos.

Para as direções médias (*mdir*), a média de cada amostra foi calculada através da média circular:

$\bar{O} = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{\sin O}}{\overline{\cos O}}\right)$ (E5) e o desvio padrão foi estimado pelo método de Yamartino (1984). O coeficiente de correlação circular foi dado por:

$$r_c = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sin(O_i-\bar{O})\sin(S_i-\bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\sin(O_i-\bar{O}))^2 \sum_{i=1}^{n}(\sin(S_i-\bar{S}))^2}} \quad \text{(E6).}$$

Na Tabela I apresentam-se os valores dos parâmetros estatísticos para as comparações efetuadas para os períodos 2009-2019 e 15-23 de dezembro de 2019. Na Fig. 3 são apresentados os dados do nível da água (SWL), de *mdir* e de H_s na bóia Costeira, assim como os resultados do modelo SWAN na posição dessa boia e no ponto P4 (que forneceu as condições de fronteira para o modelo DREAMS).

Verificou-se uma boa concordância entre os dados das boias e os resultados do modelo SWAN, embora essa concordância tenha sido inferior para os dias das depressões Elsa e Fabien. Verificou-se também que o modelo reproduziu melhor *mdir* e H_s do que T_p.

4.2. Resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2

Com os resultados do modelo DREAMS como dados de entrada para a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2, foram obtidos os valores do q em diversos perfis (denominados P8, P9, P10_2, P3_2, P11_1, P12 e P4, ver Fig. 4) do molhe do porto da Ericeira para os dias entre 15/12/2020 e 23/12/2020. Na Fig. 4 a) são apresentados, para cada perfil, os valores máximos de q obtidos para os dias analisados, assim como o dia em que esse valor de q foi obtido. São também apresentados, para os perfis P3_2 (Fig. 4 b)), P11_1 (Fig. 4 c)), P12 (Fig. 4 d)) e P4 (Fig. 4 e)), os valores de q obtidos para cada simulação horária efetuada, os valores de SWL e ainda os valores de H_s e de T_p obtidos com o modelo DREAMS no pé de talude do respetivo perfil.

Verificou-se que os valores de q foram aumentando com a proximidade à cabeça do molhe.

Foram atingidos valores de q, principalmente a partir do perfil P3_2 que estão acima do intervalo limite (50-200 l/s/m) definido por Pullen *et al.* (2007) a partir do qual existirão danos na estrutura mesmo que os seus coroamento e tardoz estejam bem protegidos.

Efetivamente, a cabeça do molhe ficou bastante danificada, tendo desaparecido os cubos Antifer do manto de grande parte da cabeça (Fig. 1).

Como se pode verificar pela Fig. 4 (b, c, d, e), o maior impacte das depressões não foi igual em todos os perfis. Enquanto nos perfis P3_2, P11_1 e P4 os maiores valores de q ocorreram durante o dia 22 (tempestade Fabien), no perfil P12 foi durante a tempestade Elsa (19/12/2020) que se verificaram os maiores valores de q.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram uma boa concordância entre os dados das boias ao largo da Nazaré e os resultados do modelo SWAN. Relativamente ao sistema de alerta, foram obtidos valores de q que estão em concordância com a emissão de um alerta vermelho para danos na estrutura nas secções do molhe mais próximas da cabeça do molhe e na cabeça do molhe. Efetivamente, durante as depressões Elsa e Fabien, a cabeça do molhe sofreu fortes danos estruturais, tendo desaparecido parte da camada exterior de cubos Antifer do manto da cabeça do molhe. Como tarefas futuras, serão efetuadas diligências junto das entidades responsáveis para a definição dos níveis de alerta para o porto da Ericeira e para o apoio à validação mais aprofundada do protótipo.

Tabela I. Valores da Média, Desvio padrão, RMSE, BIAS, SI e r para os boias Oceânica (valores a cor preta) e Costeira (a cor de tijolo)

	H_s				T_p				*mdir*			
	2009-2019		*17-22 dezembro 2019*		*2009-2019*		*17-22 dezembro 2019*		*2009-2019*		*17-22 dezembro 2019*	
	boia	SWAN	boia	SWAN	boia	SWAN	boia	SWAN	boia	SWAN	boia	SWAN
Média	2.164 2.071	2.375 2.333	4.134	4.633	10.902 11.068	11.062 11.123	13.684	13.607	315.523 310.335	312.051 311.464	273.536	274.421
Desv. Padrão	1.113 1.081	1.059 1.042	1.258	1.027	2.717 2.677	2.586 2.567	2.280	1.703	29.778 22.405	30.567 27.050	16.628	19.997
RMSE	0.433/0.437		0.896		1.595/1.639		1.429		12.22/13.14		7.950	
BIAS	0.211/0.262		0.500		0.161/0.055		-0.077		-3.472/1.129		0.885	
SI	0.200/0.211		0.182		0.146/0.148		0.103		0.039/0.042		0.029	
r	0.941/0.946		0.807		0.822/0.806		0.781		0.940/0.903		0.934	

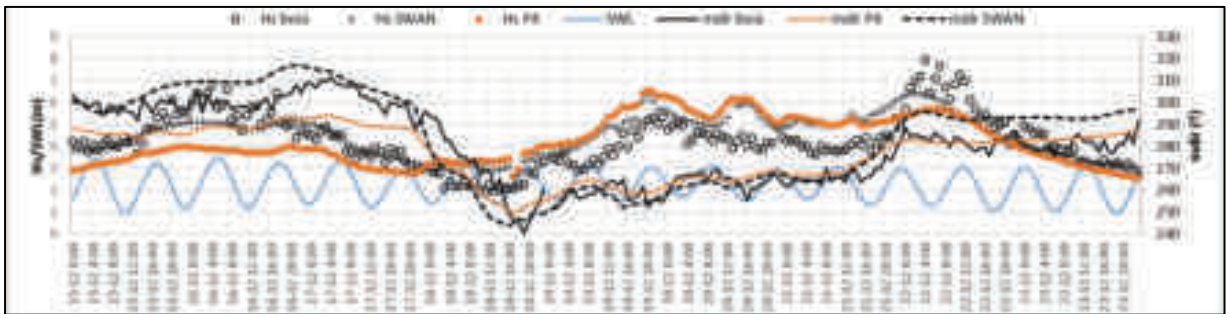


Fig. 3. Dados do nível da água (SWL), de mdir e de Hs na bóia Costeira, e resultados do modelo SWAN na posição dessa boia e no ponto P4

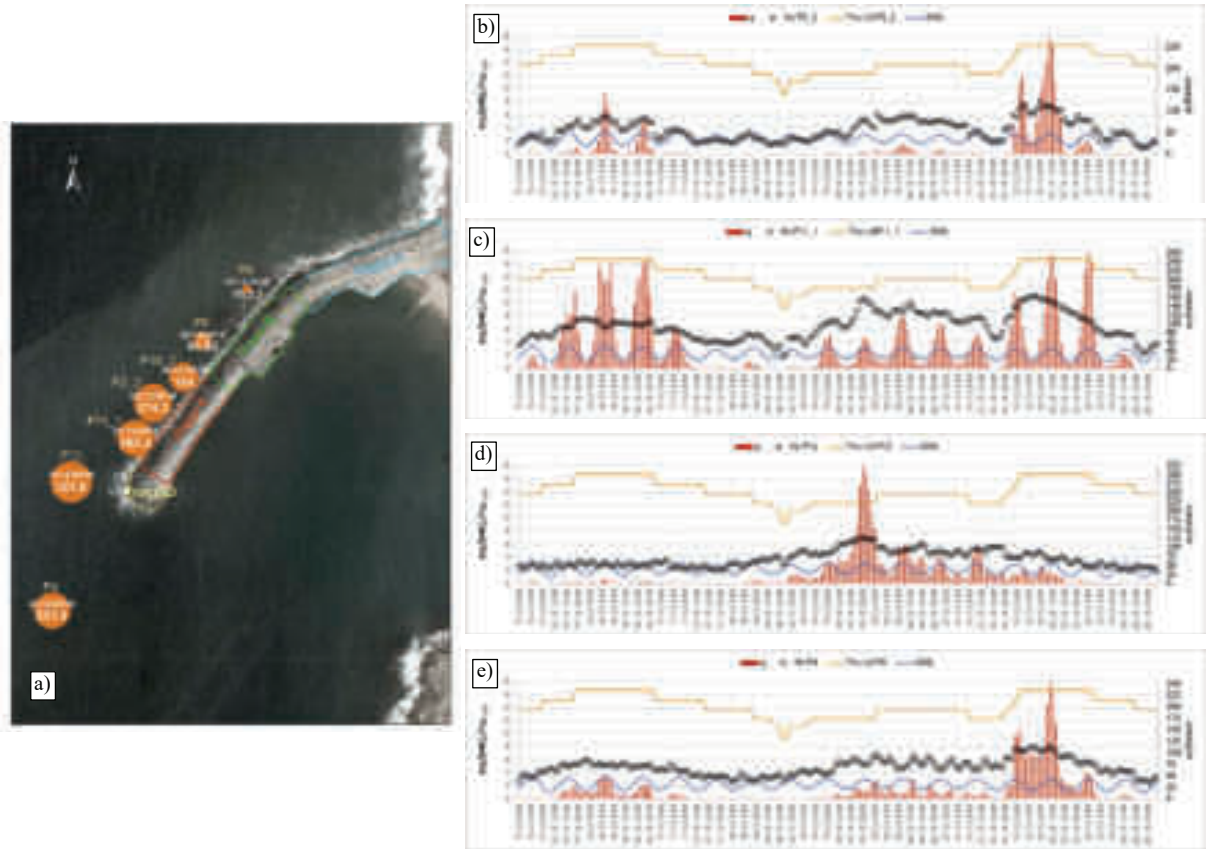


Fig. 4. a) valores máximos de q nos dias 15-23 de dezembro de 2019. Valores do caudal obtidos para cada simulação horária efetuada, valores de SWL e valores de Hs e de Tp obtidos com o modelo DREAMS no pé de talude dos perfis P3_2 (b), P11_1 (c), P12 (d) e P4 (e).

Agradecimentos

Agradece-se aos projetos To-SEAlert - Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 e BSAFE4SEA - Breakwaters SAFEty control through a FORecast and decision support SystEm Analysis, Ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017. Agradece-se ao Instituto Hidrográfico pela cedência dos dados das boias Oceânica e Costeira, que estão inseridas na rede de monitorização do observatório MONICAN.

REFERÊNCIAS

Coeveld, E.M., van Gent, M.R.A. e Pozueta, B. (2005). *Neural Network: Manual NN_OVERTOPPING2*, CLASH WP8 – Report BV.

Flater, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic Tide Clock and Tide Predictor*. Technical Report, USA, https://flaterco.com/xtide/.

Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*, PhD Thesis, IST-UL.

Poseiro, P., Gonçalves, A.B., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M. (2017). "Early warning systems for coastal risk assessment associated with wave overtopping and flooding". *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*.

Poseiro, P. (2019). *Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port Areas: Development of a Model and Risk Assessment*, PhD Thesis, IST-UL.

Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., Van Der Meer, J. (2007). *EurOtop: Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual*. Kuste.

SWAN TEAM (2006). *Swan User Manual version 40.51*, Department of Civil Engineering and Geosciences, Delft university of Technology, Delft, The Netherlands, 111 pp.

Yamartino, R.J. (1984). "A comparison of several "single-pass" estimators of the standard deviation of wind direction". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1362-1366.

Avaliação do galgamento costeiro sem e com um quebra-mar destacado na frente da praia da Vagueira

Fortes, C. J. E. M.[(1)]; Neves, M. G.[(1)]; Capitão, R.[(1)]; Pinheiro, L.[(1)]

[(1)] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. jfortes@lnec.pt, mgneves@lnec.pt, rcapitao@lnec.pt, lpinheiro@lnec.pt

Resumo: Um dos aspetos a analisar na caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado (QMD) multifuncional em frente à praia da Vagueira é a redução de galgamentos, consequência desejável que a implementação deste tipo de estrutura marítima terá nessa zona. Para isso, foi efetuada a caracterização da agitação na zona em estudo e a avaliação dos galgamentos, para a situação atual (sem estrutura) e para várias alternativas de QMD.

Com base em dados estimados ao largo, a caracterização da agitação marítima local foi obtida mediante a transferência desses dados para pontos junto à costa, utilizando, nesta ordem, os modelos de propagação de ondas marítimas SWAN e DREAMS. O período de dados ao largo considerado foi de 39 anos (1979-2018), com intervalo de 6 em 6 horas. Seguidamente, recorrendo à fórmula de Mase *et al.* (2013), calculou-se o caudal médio galgado na estrutura de defesa aderente aí existente, sem e com as diferentes alternativas de QMD. Finalmente, a comparação dos resultados obtidos permitiu avaliar o desempenho do QMD na redução dos galgamentos costeiros na sua zona de influência.

Palavras-chave: agitação marítima, erosão costeira, galgamentos, praia da Vagueira, QMD.

1. INTRODUÇÃO

A praia da Vagueira situa-se no extremo sul do trecho costeiro Barra-Vagueira, a sul do porto de Aveiro. Este trecho, com cerca de 9 km de extensão, situa-se aproximadamente a meio do litoral arenoso entre Espinho e Cabo Mondego, local onde se registam graves problemas de erosão costeira, numa zona sujeita a agitação marítima frequentemente associada a eventos de galgamentos.

No âmbito do estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado (QMD) multifuncional em frente à praia da Vagueira, Fig. 1, elaborado pelo consórcio "LNEC – Universidade de Aveiro – IST" para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), efetuou-se a análise do efeito de um QMD, a implementar nesta zona, nos galgamentos da estrutura de defesa aderente dessa praia.

Nesse sentido, estudou-se um conjunto de alternativas da geometria do quebra-mar destacado, que diferem entre si na sua posição relativamente à praia e no seu comprimento. A Fig. 2 apresenta um esquema das alternativas consideradas para o QMD.

Para cada QMD, foi avaliada a resposta da estrutura à agitação incidente em termos de galgamento, ou seja, a partir da série temporal da agitação incidente, utilizando fórmulas semi-empíricas, foram obtidas as séries temporais do caudal médio galgado em diferentes perfis da estrutura de proteção marginal e o número de eventos de galgamento (eventos não nulos e com caudal médio superior a 0,03 l/s/m, 0,1 l/s/m e 1,0 l/s/m).



Fig. 1. Zona de implantação do QMD, frente à praia da Vagueira

Com estes valores para a situação atual e para as várias alternativas de QMD é possível avaliar qual ou quais as melhores configurações de QMD, em termos de redução dos galgamentos.

Nas próximas secções apresenta-se a descrição dos estudos de agitação marítima e de galgamentos efetuados para a situação atual (sem QMD) e para a situação com QMD.

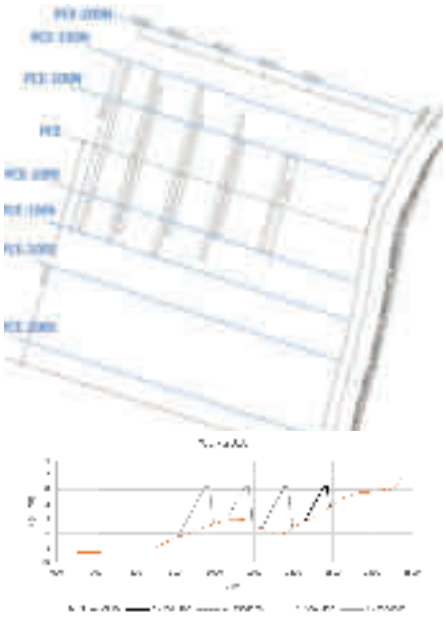


Fig. 2. Alternativas de QMD e indicação de perfis utilizadas nos cálculos de galgamentos (em planta e em perfil). A designação de cada alternativa tem o nome A.cXXXdYYY, em que YYY representa a distância à linha de costa e XXX é o comprimento do quebra-mar

2. AGITAÇÃO MARÍTIMA

2.1. Metodologia

O objetivo nesta fase do trabalho é o estabelecimento dos regimes de agitação marítima ao largo, na zona em frente à praia da Vagueira, da zona onde vai ser implementado o quebra-mar até a defesa frontal da praia da Vagueira (quer para a situação sem quebra-mar, quer para as várias alternativas de QMD).

A metodologia iniciou-se pelo estabelecimento do regime geral observado ao largo da Vagueira, obtido com base nos dados provenientes do modelo de previsão WAM do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a médio prazo (ECMWF), para um período de 39 anos (1979-2018), de 6 em 6 horas.

Seguidamente, estes dados foram transferidos para a zona em frente à praia da Vagueira, em especial para o ponto P3 (Fig. 3.a), de acordo com a metodologia apresentada em Freire *et al.* (2020), utilizando o modelo numérico SWAN (Booij *et al.*, 1999). Tal permitiu obter o regime geral observado no ponto P3 (ver Fig. 3), (Freire *et al.*, 2020) que, de grosso modo, consiste nas séries temporais, ao longo dos 39 anos, dos trios de valores dos parâmetros Hs (altura de onda significativa), Tp (período de pico) e Dirm (direção média de pico).

Finalmente, efetuou-se a caracterização da agitação marítima na proximidade da praia da Vagueira. Procedeu-se à propagação até à praia de toda a gama possível de trios de valores (Hs, Tp, Dirm) do regime geral observado no ponto P3, utilizando o modelo de declive suave do LNEC, DREAMS (Fortes, 1993), considerando quer a situação atual, quer as mencionadas várias configurações alternativas do QMD. Os resultados, em termos de índices de agitação (relação da altura de onda, H, num ponto e a altura de onda incidente, Ho), obtidos em diferentes localizações junto à praia para as dez configurações do QMD, permitiram construir matrizes de transferência, que relacionam as condições de agitação incidente com as condições de agitação nos pontos escolhidos em frente à praia, mais concretamente na zona de implantação do QMD e influenciada por este, para cada alternativa.

Com base nestas matrizes de transferência, efetuou-se a transferência do regime observado de agitação marítima estabelecido em P3, para pontos selecionados em frente à praia da Vagueira, para as dez configurações do QMD. Subsequentemente, as séries temporais dos trios de valores (Hs, Tp, Dirm) do regime geral observado foram reconstruídas, para os pontos selecionados.

2.2. Agitação marítima na batimétrica dos 12 m - Ponto P3

Apresenta-se, em forma de resumo, para o ponto P3, a rosa de direções médias de pico (Figura 3.b) e o histograma conjunto de altura de onda significativa, Hs, e período de pico, Tp (Figura 3.c)), correspondentes ao período total de dados, de 1 de janeiro de 1979 a 1 de outubro de 2018.

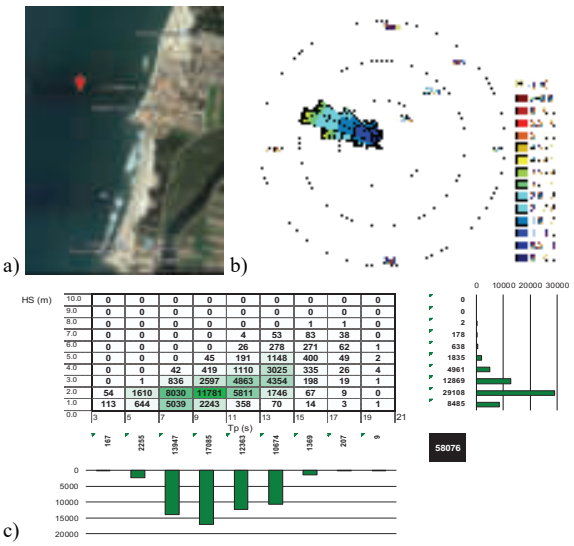


Fig. 3. a) Localização do ponto local, P3; b) Rosa de direções médias de pico da agitação marítima em P3; c) Histogramas, Hs, Tp e HS-Tp em P3

2.3. Agitação na proximidade da praia da Vagueira

Com o modelo DREAMS, foram selecionados 432 pontos de controlo sobre nove perfis perpendiculares à costa (Fig. 4), onde foram extraídas as características da agitação marítima (índices de

agitação e direção) e, deste modo, para cada ponto, estabelecidas as respetivas matrizes de transferência.

A batimetria utilizada no presente estudo teve como fonte o levantamento hidrográfico de 2018 efetuado no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental, COSMO, implementado pela APA (COSMO, 2019).

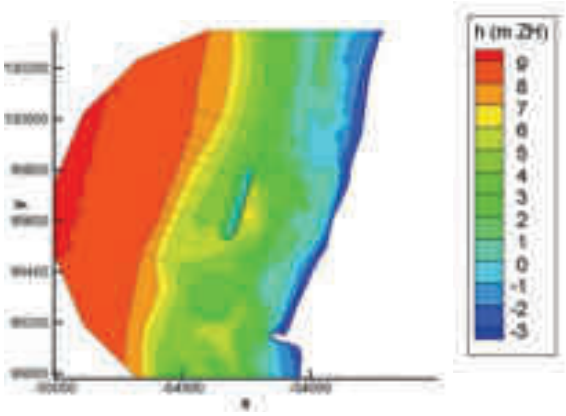


Fig. 4. Localização dos 432 pontos de análise em frente à praia da Vagueira

Com essas matrizes de transferência e as séries temporais no ponto P3, obtiveram-se as séries temporais nos pontos sobre o QMD.

Na Fig. 5 apresenta-se um exemplo para um período de cerca de 1,5 meses da série temporal de Hs ao largo, no ponto P3, sobre o QMD, sem e com aplicação de rebentação. A linha amarela representa a altura de onda na área em análise, ou seja, na zona protegida imediatamente após o QMD, no sentido da costa. Verifica-se o empolamento da onda sobre o QMD (linha laranja) e a consequente rebentação /perda de energia (linha cinzenta). As oscilações observadas devem-se ao efeito do nível de maré no empolamento que ocorre sobre o QMD (níveis de maré baixa levam a um maior empolamento).

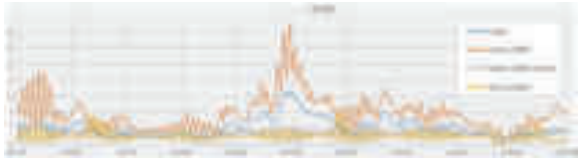


Fig. 5. Série temporal de Hs (m) ao largo, no ponto P3 (azul), num ponto sobre o QMD (laranja), nesse ponto com aplicação da rebentação (cinzento) e na área de análise (amarelo)

3. GALGAMENTOS

3.1. Metodologia

Para a análise de galgamentos, definiu-se um conjunto de perfis perpendiculares à costa, apresentados na Fig. 2. O perfil de referência, denominado PCE, está localizado na zona central do QMD. Os restantes perfis têm as seguintes localizações: três a norte do perfil PCE, diferindo 100 m, 150 m e 200 m do PCE; e quatro a sul, diferindo 100 m, 150 m, 200 m e 300 m do PCE.

Para cada um destes perfis, para as séries temporais da agitação marítima e níveis de maré entre 1979 e 2018, obtiveram-se as séries temporais do caudal médio galgado na estrutura de defesa aderente, com base na formulação de Mase *et al.* (2013) e Masatoshi *et al.* (2019), calculou-se o valor máximo do caudal médio galgado e o número de eventos com galgamentos superiores a determinados níveis, concretamente caudais não nulos e superiores a 0,03 l/s/m, 0,1 l/s/m, 1 l/s/m e 50 l/s/m.

3.2. Galgamentos sem QMD

No Quadro 1 apresentam-se os valores máximos dos caudais médios galgados, Qmax, e o número de eventos com caudais médios galgados superiores aos valores-limite estabelecidos neste estudo. Não se verifica qualquer evento com caudal médio galgado superior a 50 l/s/m, pelo que esta condição não é incluída nos quadros.

Quadro 1 Situação atual (sem QMD). Máximo valor de caudal médio galgado e respetivo número total de eventos obtidos em cada perfil para os diferentes perfis

Perfis de fundo da praia de 2018		300S	200S	150S	100S	PCE	100N	150N	200N	Total
Qmax (l/s/m)		0,00	0,00	0,00	0,00	2,89	4,70	1,48	0,71	-
Nº de eventos com	Q > 0 l/s/m	0	0	0	0	638	1854	111	20	2623
	Q > 0,03 l/s/m	0	0	0	0	604	1762	100	15	2481
	Q > 0,1 l/s/m	0	0	0	0	540	1601	82	11	2234
	Q > 1,0 l/s/m	0	0	0	0	79	407	3	0	489

Os perfis PCE e 100N foram os que registaram os maiores valores máximos de caudal médio galgado, sendo o valor máximo de 4,7 l/s/m atingido no perfil 100N. Os caudais médios galgados superaram o valor limite de 1 l/s/m no perfil PCE e todos os perfis a norte deste, exceto o perfil 200N. Não se obtiveram galgamentos nos perfis a sul do PCE.

Quanto ao número de eventos acima de cada valor limite, o máximo valor é obtido no perfil 100N para todos os valores limite considerados (1854), sendo de 407 casos com valores superiores a 1 l/s/m. Em PCE, este valor cai para 79, sendo de 3 no perfil 150N e não havendo qualquer ocorrência acima deste valor nos demais perfis.

Registou-se uma maior percentagem de galgamento no perfil 100N, superior a 3% (ver Quadro 1), isto é, uma probabilidade de ocorrência que se pode classificar como rara. Todos os outros perfis têm probabilidade de ocorrência de eventos de galgamento entre 0 e 1%, isto é, improvável.

3.3. Galgamentos com QMD

Na Fig. 6 e na Fig. 7 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos, para a situação atual e para cada configuração do QMD, do caudal máximo galgado e da soma do número de eventos de galgamento

(eventos não nulos e com caudal médio superior a 0,03 l/s/m, 0,1 l/s/m e 1 l/s/m) obtido em cada perfil, respetivamente.

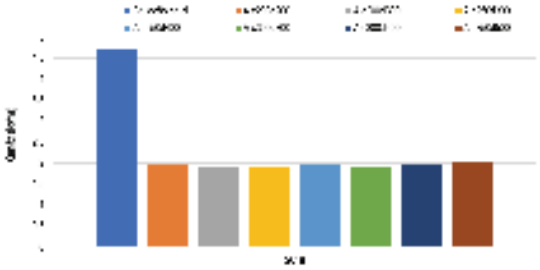


Fig. 6. Caudal médio galgado máximo para a situação atual e para cada configuração do QMD A designação de cada alternativa tem o nome A.cXXXdYYY, em que YYY representa a distância à linha de costa e XXX o comprimento do quebra-mar.

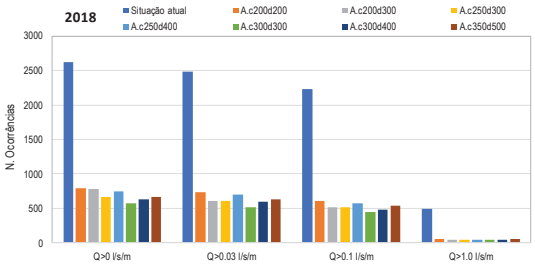


Fig. 7. Situação atual (sem QMD) e com QMD. Nº de eventos de galgamento obtidos para a situação atual e para cada configuração do QMD. A designação de cada alternativa tem o nome A.cXXXdYYY, em que YYY representa a distância à linha de costa e XXX o comprimento do quebra-mar.

A presença do QMD conduz, em geral, à redução do caudal médio galgado máximo e do número de eventos com caudais médios com eventual perigo para pessoas, veículos ou edifícios/equipamento na zona protegida pela estrutura de defesa aderente, para as condições de fundo estudadas.

As configurações que conduziram a um menor número de eventos de caudais médios galgados superiores a 0,1 l/s/m e 1 l/s/m, cuja consequência é reduzida, e a um valor menor do caudal médio galgado máximo são: A.c300d300, A.c250d300 e A.c200d300.

As configurações A.c250d400 e A.c300d400 são ligeiramente piores no que se refere ao galgamento, mas com uma redução bastante significativa de eventos e caudais médios galgados máximos em relação à atual, podendo ser uma opção, se forem bastante melhores no que respeita ao acréscimo de praia, que terá certamente efeitos no galgamento e não são aqui tidos em conta.

4. CONCLUSÕES

A análise do efeito das diferentes configurações estudadas para o QMD na redução do galgamento da defesa aderente e diminuição do risco para a população foi realizada tendo em consideração as condições de agitação marítima e correspondente níveis de mar entre 1979 a 2018 e a elevação do fundo arenoso em julho de 2018, através da utilização de oito perfis transversais localizados em frente à defesa aderente.

As configurações que levaram a melhores resultados do ponto de vista da redução do galgamento da defesa aderente foram as localizadas a 300 m da linha de costa, com comprimentos entre 200 m e 300 m.

A escolha da configuração do QMD a adotar deve ser feita tendo em conta os resultados obtidos para o galgamento juntamente com a sua influência na dinâmica sedimentar e morfológica e na promoção do acréscimo de praia.

Convém recordar que os cálculos foram efetuados com fórmulas semi-empíricas, que não têm em consideração a direção da agitação marítima, ou seja, consideram que a agitação marítima incide perpendicularmente à estrutura. Por outro lado, nos cálculos efetuados, foram utilizados perfis de fundo que não têm em conta as alterações que irão sofrer pela presença do QMD.

Agradecimentos

Os autores agradecem à APA a autorização para publicação destes resultados. Agradecem também à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento proporcionado pelos projetos To-SEAlert, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 e BSafe4Sea, Ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017.

REFERÊNCIAS

BOOIJ, N.; RIS, R.C.; HOLTTHUIJSEN, L.H (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model Description and Validation. Journal of Geophysical Research, 104 (C4), 7649-7666.

COSMO, 2019 – Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental, acessível em: https://cosmo.apambiente.pt/ (último acesso 19.12.2019)

FREIRE, P.; BAPTISTA, P.R.; CAPITÃO, R.; SANCHO, F.; FORTES, C.J; NEVES, M.G.; PINHEIRO, L., 2020 – Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Caracterização da hidrodinâmica e da variabilidade morfo sedimentar. Relatório 7. Relatório conjunto 161/2020 DHA/NEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

FORTES, C.J.E.M., 1993 – Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos). Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, IST, Lisboa, Portugal.

MASATOSHI, Y.; NAOYA, O.; MASE, H.; KIM, S.; UMEDA, S.; ALTOMARE, C., 2019 - Applicability enhancement of integrated formula of wave overtopping and runup modelling. Journal of Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Ser. B2 (Coastal Engineering), Vol. 75, pp. I_739-I_744. doi.org/10.2208/kaigan.75.I_739

MASE, H.; TAMADA, T.; YASUDA, T.; HEDGES, T. S.; REIS, M.T., 2013 – Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. Journal of Waterway Port, Coastal, and Ocean Engineering, 139, 346–357.

Evaluation of HF radars skills for wave height observation at the west coast of the Iberian Peninsula

Bué, I. (1) (2); Semedo, A. (3) (2); Catalão, J. (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal, isabel.maria.bue@marinha.pt
(2) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal
(3) IHE Delft, Institute for Water Education, Department of Coastal Systems and Engineering and Port Development, Delft, The Netherlands

Abstract: The west coast of the Iberian Peninsula is strongly influenced by low-pressure systems tracking from the mid-Atlantic Ocean, mostly during winter, that give rise to storms and severe sea states. Different remote sensing techniques, such as High Frequency Radar (HFR) or satellite altimetry, can act as complementary systems for wave height observations, filling out the information gaps of *in situ* sensors. In this study HFR performance at West Iberian coast is evaluated against wave buoy observations and Sentinel-3 Radar Altimeter (SRAL) satellite measurements. Although satellite altimetry measurements had proven to be less accurate near shore, the overall results show that SRAL wave observations present higher accuracy and correlation coefficient with *in situ* wave height measurements than HFR. The systems analyzed reveal consistent results, indicating the reliability of HFR as wave measurement tool and prove that a combined observational strategy can provide a comprehensive wave monitoring and analysis in coastal areas.

Key words: High Frequency Radars, satellite altimetry, wave buoy observations, Sentinel-3, SRAL, wave height measurements

1. INTRODUCTION

The Western Iberian Peninsula (Fig 1) is strongly influenced by North Atlantic extratropical cyclones, during winter, and in summer by strong coast-parallel winds that drive coastal upwelling (Semedo, 2018). *In situ* observations allow continuous monitoring of coastal areas and the production of reliable wave climate statistics. However, buoy measurements are disproportionally distributed, with most of them located in the northern hemisphere and near developed countries (Semedo *et al*, 2015). Remote sensing wave measurements, such as satellite altimeter (SA), offer a good alternative for monitoring the sea state due to their global coverage and day and night operating capability. But SA measurements can be less accurate near the coastline duo to land contamination of the SA footprint (Vignudelli *et al*, 2011). Nevertheless, SA precision had been proved to be similar to buoy observations in the open ocean (López-García *et al*, 2019). On the other hand, HFR wave observations have been identified as a cost-effective complement to *in situ* sensors, by increasing spatial coverage with lower maintenance costs (Lorente *et al*, 2019). HFR like CODAR *SeaSonde* systems can measure ocean surface currents and wave fields simultaneously using the echo backscattered originated by the rough sea surface. These HFR systems deliver robust ocean surface currents measurements, derived from the dominant first-order peaks in the radar echo spectrum (Lipa & Nyden, 2005). Wave parameters such as SWH, wave period, and wave direction are obtained from the spectrum's second-order peaks, where the amplitude can be lower than the dominant first-order Bragg peaks. The wave parameters are obtained by applying a least-squares fitting technique between the second-order radar spectrum and a Pierson-Moskowitz model with a cardioid directional distribution function (Lipa & Nyden, 2005). *In situ* observations can benefit from the improved temporal sampling and higher resolution provided by HFRs. The present study explores the skills for measuring wave height of the *SeaSonde* CODAR HFR systems in the western Iberian Peninsula (Fig 1). The HFR performance are evaluated through SWH comparisons between HFR, buoys and SA. The ability of the HFR system to detect wave height extreme events is also evaluated.



Fig. 1. Western Iberian Peninsula (study area). Blue dots: wave buoy positions and red & yellow stars: HFR's site location.

2. DATA AND METHODS

Wave parameters from broad-beam direction-finding CODAR *SeaSonde* HFR system, buoy observations, and SA measurements are used in this study. The time window of the data sets is from January 2017 to December 2019 (36 months). All data sets were hourly time paired and SWH correlation is

achieved using buoy observations as the reference "ground truth".

2.1. In situ observations

Wave buoys (blue dots in Figure 1) are used as ground truth for SWH comparison. Table I shows the distance from shore and the wave data availability for each buoy. The Portuguese Hydrographic Institute (IH) operates 7 buoys (PT in Table I). The *Puertos del Estado* (PdE) Spanish agency operates the other 5 buoys (SP in Table I). Gaps in wave data set due to buoy maintenance periods. The buoys data sets were obtained from IH and PdE, respectively.

Table I. Distance from shore and availability of buoy observations.

Buoy	Distance from shore (km)	Availability wave data (%)
Peñas (SP)	19	87.68
Baves (SP)	37.5	91.38
Villano-Sisargas (SP)	30.5	95.74
Silleiro (SP)	44.16	99.93
Leixões (coastal) (PT)	19.2	69.79
Leixões (oceanic) (PT)	72.95	69.41
Nazaré (coastal) (PT)	7.42	55.91
Nazaré (oceanic) (PT)	14.15	79.47
Sines (PT)	5	83.14
Faro (coastal) (PT)	6.63	96.42
Faro (oceanic) (PT)	64.7	57.41
Cádiz (SP)	53.7	99.96

2.2. High Frequency Radars

HFR wave measurements have been collected from CODAR *SeaSonde* HFR systems and provided by PdE and IH. The HFR systems provide 30-min sampling rate wave data, subsequently averaged at 60-min intervals, ensuring temporal resolution consistency. The Galician long-range 4.86 MHz HFR Finisterre (FIST) and Silleiro (SILL) are operated by PdE while Prior (PRIO) and Vilano (VILA) by INTECMAR. The 13.5 MHz Mazagón (MAZA) HFR is also operated by PdE. The 12-13.5 MHz HFR of S. Julião (SJUL), Espichel (ESPL), Sagres (SAGR), Alfanzina (ALFA) and Vila Real de Santo António (VRSA) sites are operated by IH (Table II). Data from FIST were not available since this station has suffered a long and severe break-down.

Table II. High Frequency Radar sites information.

HFR site	Frequency (MHz)	RC resolution (km)	Maximum distance SWH data (km)
PRIO	4.86	5.1	25.5
VILA	4.86	5.1	25.5
SILL	4.86	5.1	25.5
FIST	4.86	**Data not available**	
SJUL	12.43	1.85	18.5
ESPL	12.92	2.15	34.4
SAGR	13.5	1.85	29.6
ALFA	13.5	1.85	29.6
VRSA	12.47	1.51	22.65
MAZA	13.5	1.67	20.04

Each HFR site's operating frequency sets the max/min wave height measured by the system. The lower the frequency, the higher the wave height measured (Lipa & Nyden, 2005). Waves with heights up to 20 m can be measured by the 4.86 MHz HFR, and theoretically, 12-13 MHz sites can measure a min/max wave height of 1/8 m (Lipa & Nyden, 2005; Long *et al*, 2011). In the HFR systems, wave data are collected from circular cells (Range Cell - RC) arranged from the HFR antenna (Lipa & Nyden, 2005). The RC width corresponds to its spatial resolution and vary from HFR to HFR. The homogeneity of the ocean spectrum is assumed over each HFR RC (Lipa & Nyden, 2005; Long *et al*, 2011). Table II summarizes the standard information for each HFR site.

2.3. Satellite Altimeters

SWH measured by SA is determined by tracking the slope of the leading edge of the return waveform to the nadir-looking altimeter (Vignudelli *et al*, 2011). Once the data is quality controlled, and sensor biases are removed, SWH errors are comparable to buoy measurements. SA SWH data from the Sentinel-3 (S3) mission are used in this study. The spatial resolution along the satellite track is approximately 7 km for 1 Hz measurements and ≈340 m for the 20 Hz (Nencioli & Quartly, 2019). The 20 Hz sampling SWH measurements from S3A and S3B are used for data comparison. S3 SWH data set is obtained from EUMETSAT and downloaded from Copernicus Online Data Access (https://coda.eumetsat.int).

2.4. Data Analysis Method

For the validation of HFR wave parameters, radar nulls, and other spurious values detected during the data sets screening are excluded. Thus, VRSA and MAZA have the lowest availability of wave data during the 36-months, with 11.46% and 11.75%, respectively. The site with the higher data availability is ALFA (86.48%), followed by SAGR (83.48%) and SJUL (60.26%).

To achieve the potential of the western Iberian Peninsula HFRs in retrieving wave data, the comparison between HFR/buoy observations is mandatory. The proximity of wave buoys to the closest HFR RC, was considered for the HFR/buoy comparison. The outermost RC, which is closer to the buoy position, in line-of-sight with HFR transmission antenna and with sufficient data to be compared, is selected. Thus, the analysis is performed only in 4 HFR/buoy sensor pairs – PRIO RC5/Baves, VILA RC5/Villano-Sisargas, SILL RC5/Silleiro, and ALFA RC15/Faro coastal.

As the overlap between HFR and buoy observations is not available for every HFR sites, SA SWH measurements are compared with wave data extracted from individual HFR RCs. In *SeaSonde* CODAR HFR systems, wave data are retrieved from single RCs, and the acquisition depends on the sea state characteristics throughout the RC itself. Buoy observations are used to validate the S3 SWH measurements for the HFR/S3 comparison. Only the S3 measurements inside a 10 nm circular area from the buoy position are used in the S3 data validation. As the S3 *tracks* overlap all the different HFR RC, an HFR/S3 comparison can evaluate how HFR performance to retrieve SWH vary with the

distance to the coast. For the HFR/S3 comparison, only the S3 measurements inside each HFR RC are used. The agreement between the different data sets has been evaluated by the computation of a set of statistical metrics, such as correlation coefficient (R), bias, root-mean-squared error (RMSE), scatter index (SI), quantile-quantile (QQ) plots and the best linear fit of scatter plots through regression slopes.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Wave height comparisons of HFR/buoy observations have earlier presented HFR consistent performances in retrieving reliable wave information, although its slight overestimation (Lorente *et al*, 2019; Long *et al*, 2011; Atan *et al*, 2015). The density scatter plots depicted in Fig. 2 results from the overall correlation of the HFR/buoy SWH paired observations during the study time window. The correlation between the two data sets is above 0.84, except for the ALFA (Fig 2.d), with R = 0.66. The RMSE varies from 0.89 m to 1.18 m, and the negative bias indicates an overestimation of the SWH by the HFR sites, particularly in ALFA (Fig 2.d). These results can be explained due to the lack of overlaping between the HFR/buoy data sets. Faro coastal buoy is moored 22 km apart from the ALFA RC15. ALFA is located in an area where wave heights < 2 m are frequent, and for low sea states the second-order spectra echoes can be very weak, and spurious features in the spectrum can contaminate the wave parameter estimation (Lipa & Nyden, 2005).

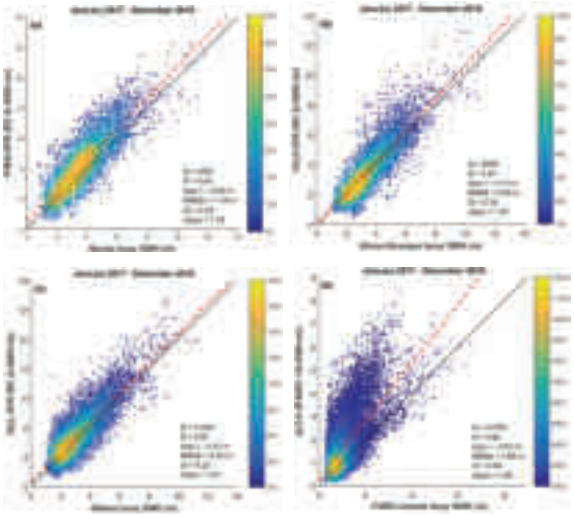


Fig. 2. Comparisons between HFR/buoy SWH (density scatter plots). (a)PRIO/Baves; (b)VILA/Vilano-Sisargar; (c)SILL/Silleiro and ALFA/Faro coastal.

Emma storm, which affected western Europe between 28/02/18 and 02/03/18, was analyzed to evaluate the HFR systems' ability to capture extreme wave events. Fig 3 presents the HFR/buoy SWH comparisons for March 2018 through time series, scatter and QQ plots. The time series plots show a good agreement between the two data sets, although the HFR slightly overestimates the SWH, which is confirmed by the negative bias (- 0.06/- 0.37 m). The scatter plot shows also the good agreement between the data sets, with 0.84-0.92 of R, and the RMSE varying from 0.69 m (ALFA) to 1.18 m (PRIO). The QQ plots confirm the overestimation, particularly for high-sea states and wave height events above the 90th percentile. Acording to Atan *et al.* (2015) extreme wave events occur between the 90th -99th percentiles. At Galicia/Algarve region, a wave height above 6/4 m can be considered an extreme event (QQ-plots). The ALFA and Galician sites had captured SWH of 6 m (01/03/18) and 8 m (11/03/18), respectively. For the Galician sites the effects of the Emma storm were felt later, corresponding to swell, originated by the storm passage between the Azores archipelago and the Iberian Peninsula. On 24th March 2018, these sites registered another extreme wave height event, with values between 9-10 m. The preliminary analysis of these plots shows the ability of HFR to capture extreme wave height events.

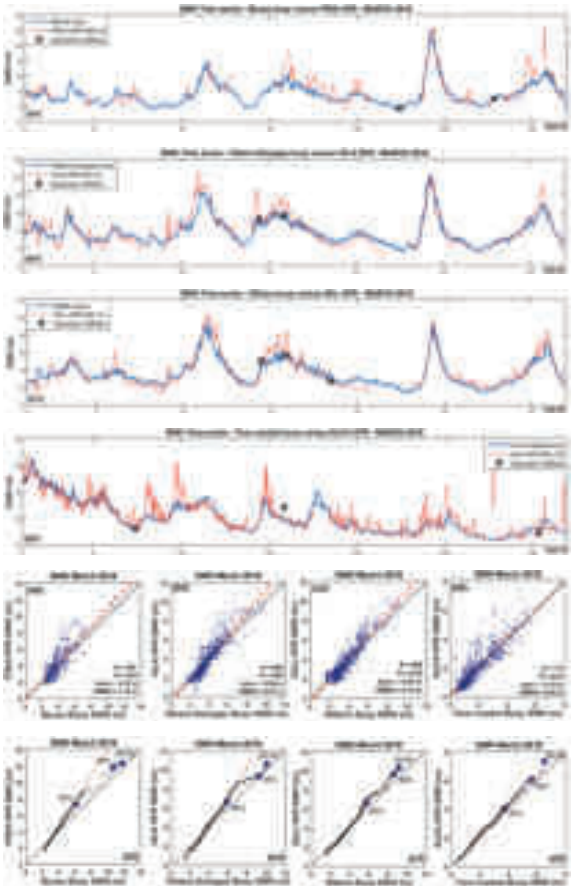


Fig. 3. HFR/buoy SWH comparisons for March 2018 (Emma storm). (a)PRIO/Baves; (b)VILA/Vilano-Sisargar; (c)SILL/Silleiro and ALFA/Faro coastal. (a1,b1,c1,d1) Time series plots; (a2,b2, c2,d2) Scatter plots with statistics and (a3,b3,c3,d3) QQ-plots.

During the S3/buoy comparison, and as expected, SWH values retrieved from S3 tend to be less accurate nearshore. Nevertheless, R is between 0.94 and 0.99. Except for Sines and Cádiz, where R = 0.91 and R = 0.89, respectively. The regression slope (0.92-1.08) approaching the 1:1 relation and the RMSE (0.17-0.65 m) indicate a good performance of the S3 satellites in coastal zones. Comparisons with *in situ* observations have previously shown the

overall improved performance of S3 (López-Garcia *et al*, 2019; Nencioli & Quartly, 2019). For Sines position, the closest to shoreline buoy (≈ 5 km), the highest bias value (- 0.45 m) was achieved, showing a slight overestimation by the S3 altimeters.

After the S3 SWH validation through *in situ* comparisons, S3 data set is now taken as the reference for HFR/S3 analysis. As the sea-state limits HFR for wave parameters acquisition, the percentage of data recorded that can be extracted might differ among RCs. The amount of wave data is, in general, quite low near shoreline due to the range and architecture of the HFR antennas. The wave data availability also tends to decrease as the distance from the HFR antenna increases (Lipa & Nyden, 2005; Long *et al*, 2011). Fig 4 shows the useful (no nulls/ spurious values) wave data availability of individual HFR RCs, concerning the distance to the coast. The HFR trend to capture less quantity of wave data, too close and too far from the coast, is present. ALFA and SAGR are the sites with the highest percentage of useful data (> 85 %). On the other hand, VRSA and MAZA had captured a low percentage of wave data (< 20%). These values can be partially justified by these sites' location in a sheltered area (see Fig. 1) with low sea-states.

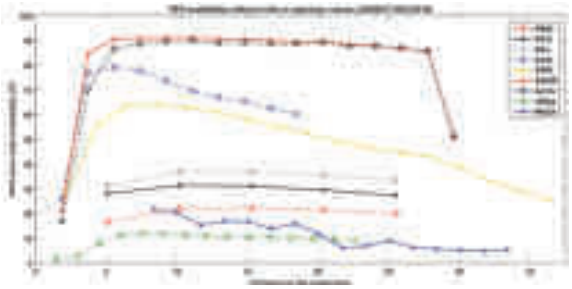


Fig. 4. HFR wave data (no nulls/spurious values) availability versus distance to the coast. Circle markers: RCs.

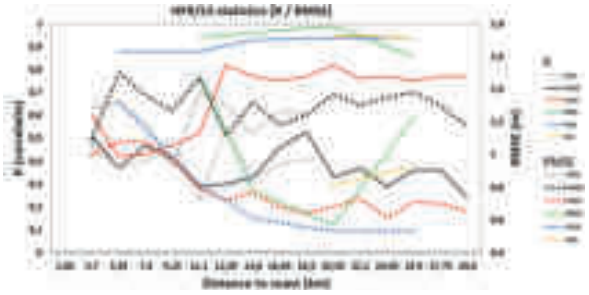


Fig. 5. HFR/S3 statistics (R/RMSE) versus distance to the coast. Dashed lines: RMSE and solid lines: R.

The HFR/S3 comparison, an overall negative bias was achieved, forwarding for an overestimation of the SWH by the HFR. The R and RMSE for 6 HFR sites are presented in Fig 5, allowing to evaluate how HFR SWH vary with the distance to the coast. RMSE values vary in the inverse proportion with the R, as the distance to the coast increases. The agreement among the Galician sites is high, with correlations between 0.86-0.99. The best R is achieved at RC4 (≈20 km from the coast), for all Galician sites. The RMSE for RC4 is 0.57/0.53/0.81 m, for PRIO, VILA and SILL, respectively. For the 12-13.5 MHz sites, ALFA presents the better results, particularly from RC7 to RC16, with R varying from 0.75 to 0.82, and the RMSE between 0.61-0.77 m. ESPL, VRSA and MAZA are not depicted in Fig 5 due to inconsistency in the data set, that should be further investigated.

4. CONCLUSIONS

HFR showed to have the potential for wave data retrieving at the coast, especially in higher sea-states. The HFR's ability to detect wave height extreme events was evaluated during the Emma storm and encouraging results were presented. The CODAR *SeaSonde* HFR system in the western Iberian Peninsula has been demonstrated to be a good remote sensing tool to retrieve wave height values in coastal areas, although a slight overestimation was detected in the HFR measurements. Comparatively with buoys, proximity to the HFR sites and its lower maintenance costs ensures continuous data return, apart from wave data availability. HFR measurements presents also a better temporal and spatial resolution rather than buoys, covering larger and closest to shoreline areas. With the appropriate adaptations and improvments, the gap of wave data along coastal areas can eventually be overcome by HFR wave measurements.

Acknowledgements

The authors would like to thank *Puertos del Estado* and *Instituto Hidrográfico* for providing buoys and HFR wave data.

REFERENCES

Atan, R. & Coauthors (2015). Assessment of extreme wave height events in Galway Bay using High Frequency radar (CODAR) data. In Renewable Energies Offshore Conference. pp. 49–56.

Lipa, B.; Nyden, B. (2005). Directional wave information from the SeaSonde. IEEE *Journal of Oceanic Engineering.* 30, 221–231

López-García, P., Gómez-Enri, J., Muñoz-Pérez, J. (2019). Accuracy assessment of wave data from altimeter near the coast. *Ocean Eng.*178, 229-232.

Lorente, P. & Coauthors (2019). Long-term skill assessment of SeaSonde radar-derived wave parameters in the Galician coast (NW Spain). *Int. Journal of Remote Sensing* 10, 9208–9236.

Long, R. & Coauthors (2011). Wave observations from central California: SeaSonde Systems and in situ wave buoys. *Journal of Sensors.* 1–18.

Semedo, A.; Vettor, R.; Breivik, O.; & Coauthors (2015). The wind sea and swell waves climate in the Nordic Seas. *Ocean Dynamics*. 65, 223-240.

Semedo, A. (2018). Seasonal variability of wind sea and swell waves climate along the Canary Current: The local wind effect. *Journal of Marine Science Engineering.* 6(1), 28.

Nencioli, F.; Quartly, G. (2019) Evaluation of Sentinel-3A wave height observations near coast of southwest England. *Remote Sensing*. 11, 2998.

Vignudelli, S.; Kostianoy, A.; Cipollini, P.; Benveniste, J.; (2011) *Coastal Altimetry*. Springer. 565 pp.

Laboratory and numerical studies of solitary and N-waves

Lima, V. (1, 2, 4); Avilez-Valente, P. (3,4); Baptista, M. A. (2,5); Miranda, J. M. (2,6)

(1) Instituto Hidrográfico (IH), vania.lima@hidrografico.pt.

(2) Instituto Dom Luiz, FCUL (IDL).

(3) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

(4) Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, UP (CIIMAR).

(5) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

(6) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

Abstract: When no field data is available or a conceptual analysis is envisaged, it is a common approach to model tsunamis as solitary waves (SW), both in experimental and numerical studies. However, it has been suggested that N-shaped waves are more adequate to describe the main tsunami wave.
The usual method for laboratory generation of SW is based on the first-order wave-maker theory, for a piston-type wave-maker. For the laboratory generation of N-waves (NW), using a piston-type wave-maker, a novel first-order formulation was introduced.
Laboratory experiments for 76 wave cases of propagation of S- and N-waves were performed at the Laboratory of Hydraulics (LH) of the Faculty of Engineering of the University of Porto. Laboratory measurements of S- and leading depression N-waves are analysed and compared to numerical simulation results obtained with OpenFOAM. Improvements and future work are suggested.

Key words: N-wave, OpenFOAM, piston-type wave-maker, solitary wave, tsunami modelling.

1. INTRODUCTION

The most used method for the generation of solitary waves (SW) in a laboratory is based on the first order wave-maker theory of Goring (1978) and Goring and Raichlen (1980) for a piston type wave-maker. Goring's procedure, which is based on the Boussinesq first-order solitary wave solution, is a method limited to waves with a small height-to-depth ratio. A detailed literature review showed vast research work concerning the generation of solitary waves (Lima *et al.*, 2019). However, it revealed a considerable lack of work on the process of N-wave (NW) generation in a wave flume, by means of a piston wave-maker. In Lima *et al.* (2019), the authors propose a novel formulation for the generation of N-waves with piston wave-makers, by extending Goring's method (Goring, 1978; Goring and Raichlen, 1980) for the Boussinesq solitary wave to the general N-wave expression introduced by Tadepalli and Synolakis (1994, 1996a).

Using Goring's formulation for the laboratory generation of solitary waves with piston wave-makers and the novel first-order formulation for the generation of N-waves with piston wave-makers (introduced by Lima *et al*. 2019), new laboratory experiments were conducted. Here, 76 wave cases of SW and NW were generated along a channel with constant section, with and without a beach assembled, and their propagation was recorded. Laboratory measurements of some of the wave cases performed were analysed and compared with the expected theoretical profiles and with the numerical simulations' results obtained with OpenFOAM (OpenCFD Limited, 2019), specifically with the olaFlow package (Higuera, 2019).

2. DESCRIPTION OF THE EXPERIMENTS

2.1 Wave basin physical experiments

For the wave basin physical experiments (Figure 1) with constant water depths d of 25 and 50 cm, 16 paddles of the wave generation system were activated.



Fig. 1. Wave basin at the LH, FEUP. Setting of the wave gauges used in the basin experiments.

A set of 4 wave gauges were installed on tripods and fixed on the basin floor. We placed 3 wave gauges 1.30 m away from the wave-maker, 5.25 m apart from each other (Figure 2). For control purposes, wave gauge wg6 was placed behind wg1/wg5, distanced 1.20 m. The time series measurements were acquired and recorded by the HR Wallingford (HRW) software program (HRW DAQ Suite version 1.24.0.0).

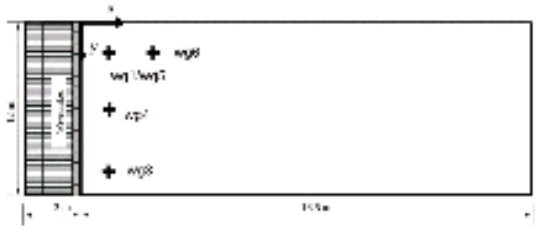


Fig. 2. Wave basin and wave gauges' positioning used for the constant water depths (25 and 50 cm) experiments

2.2 Plane slope physical experiments (with beach)

A channel with 1.5 m width was constructed inside the wave basin, limited on one side by a Perspex wall along the tank and by its side wall. A beach composed by two slopes with 1:15 and 1:30 respectively was assembled along the channel (Figure 3). This beach is composed by one flat 5 m long section starting right after the wave-maker, followed by a 1:15 plane slope (angle β1) with 3.75 m of length and a second plane slope (angle β2) with 7.5 m of length and 1:30. Only 2 wave-maker paddles were activated for the experiments inside the channel, as the limiting plexiglass wall was extended up to the paddles.



Fig. 3. Scheme of the beach profile assembled inside the wave basin, in a 1.5 m wide channel, composed by a flat 5 m section and 2 slopes with 1:15 and 1:30, respectively.

The experiments were performed for two levels of water depth: 25 cm and 50 cm (Figures 4, 5 and 6).

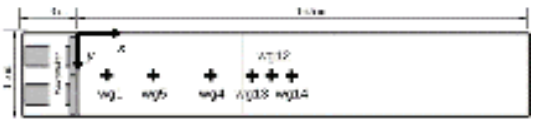


Fig. 4. Wave gauges' positioning inside the 1.5 m wide channel, for the 25 cm water depth experiments.

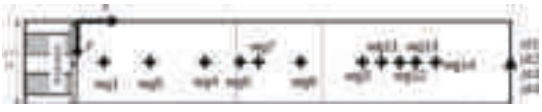


Fig. 5. Wave gauges' positioning inside the 1.5 m wide channel, for the 50 cm water depth experiments.

For the experiments with the beach, a maximum of eight long wave gauges were installed on fixed arms, mounted on the side wall of the wave basin, and three short wave gauges were installed on small tripods, to measure data in reduced water depth (Figures 4 to 6).



Fig. 6. Wave gauges setting along the channel, for 50 cm water depth experiments.

2.3 Wave conditions

We defined a set of solitary waves (SW) and N-waves (NW) to be generated (Table 4.9 in Lima, 2020) with wave heights between 6 and 24 cm, for water depths of 25 cm and 50 cm and for piston strokes between 0.25 m and 1.00 m.

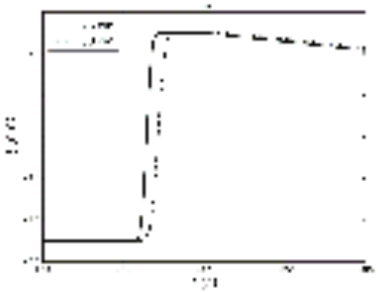


Fig. 7. Piston trajectory for the generation of solitary wave C6, with 50 cm stroke, for water depths of 25 (C6a) and 50 cm (C6b).

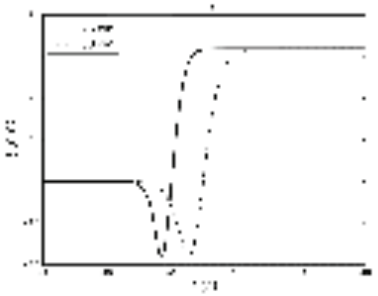


Fig. 8. Piston trajectory for the generation of LDN-wave C13, with 50 cm stroke, for water depths of 25 (C13a) and 50 cm (C13b).

The solitary waves generated were positive shaped. The N-waves generated were leading depression (LDN) type, with ratio a– / a+ = 0.4, which means that H = 1.4 × a+. This ratio was found to present the best fitting results both in the preliminary experimental and numerical tests (Lima, 2020). The piston wave-maker trajectories for waves C6 (H = 0.155 m) and C13 (H = 0.085 m) are represented in Figures 7 and 8 respectively.

3. NUMERICAL SIMULATIONS

The computational simulations were performed using OpenFOAM and the olaFlow toolbox. The

computational domain for the olaFlow numerical tests is a replication of the wave channel. A 2DV model is used and the computational domain is set into 3 blocks specified inside blockMeshDict. The number of cells in the *x* direction is 200 and 50 in the *z* direction. The boundary condition applied uses the wave type wave-maker with the wavemakerMovementDict dictionary. For that purpose, a text file was created beforehand and used for the simulations. The text file is composed by a time series with the data for the several paddle positions and the free surface elevation at each paddle position.

In terms of turbulence modeling, the olaFlow's library with the modified $\kappa - \varepsilon$ and $\kappa - \omega$ turbulence models enables the code to more accurately simulate multiphase systems. Devolder *et al.* (2017) explained that $\kappa - \varepsilon$ and $\kappa - \omega$ turbulence models caused more wave damping over the wave flume's length and therefore implemented a modified turbulence model, the $\kappa - \omega$ SST model. This was the turbulence model selected to use in the numerical simulations, as the modified turbulence model $\kappa - \omega$ SST prevents significant wave damping over the length of the wave flume (Devolder *et al.*, 2017).

4. RESULTS AND DISCUSSION

We consider the solitary waves (SW) and leading depression N-waves (LDN) experiments performed in the LH-FEUP wave tank (Figures 1 and 2), with the physical model of a beach composed by two slopes 1:15 and 1:30 (Figure 3 to 6), for 2 water levels of 25 and 50 cm water depths.

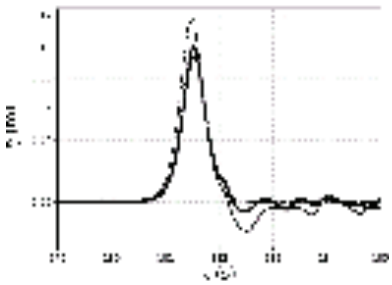


Fig. 9. Comparing results at wg1/wg5 for experimental SW C203a (stroke 50 cm), for wave basin experiments (—), with beach (**) and analytical TS (--) (25 cm water depth).

For the experiments within the tank (Figure 2), comparison for the same wave gauge is presented for C203 and C303 (solitary and N-wave with H = 12 cm respectively and stroke 50 cm) in Figures 9 and 10, for a water depth of 25 cm (C203a and C303a), and in Figures 11 and 12 (C203d and C303d), for a water depth of 50 cm. The theoretical time series (TS) is also plotted. It was found that there is a more pronounced difference in the comparison plot for the SW at 50 cm water depth. Noise at wg5 was predominant in these measurements, with a distinct shift between wave profiles (Figures 11 and 12).

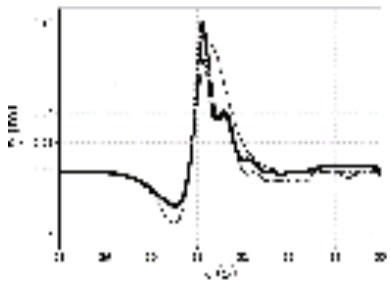


Fig. 10. Comparing results at wg1/wg5 for experimental NW C303a (stroke 50 cm), for wave basin experiments (—), with beach (**) and analytical TS (--) (25 cm water depth).

The Stokes number St for each wave case experimented (Table 4.9 in Lima, 2020) was determined. The expression for the Stokes number is:

$$St = \epsilon / \sigma^2 .$$

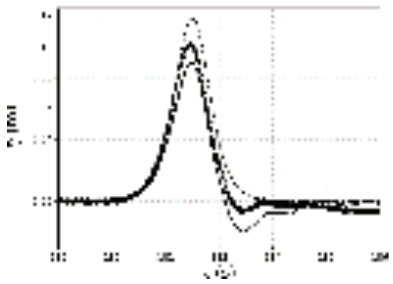


Fig. 11. Comparing results at wg1/wg5 for experimental SW C203d (stroke 50 cm), for wave basin experiments (—), with beach (**) and analytical TS (--) (50 cm water depth).

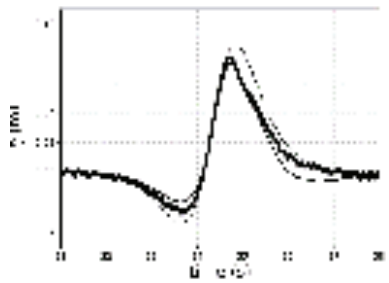


Fig. 12. Comparing results at wg1/wg5 for experimental NW C303d (stroke 50 cm), for wave basin experiments (—), with beach (**) and analytical TS (--) (50 cm water depth).

The Stokes number St relates the waves' non-linearity and dispersion and classifies the wave cases according to their characteristics and behaviour. The limits on this classification scale are flexible and we defined three increasing intervals for St : $St < 3$ correspond to short Boussinesq waves; $3 < St < 10$ correspond to a mixed behaviour, and $St > 10$ correspond to long non-Boussinesq waves (Lima *et al.*, 2019). Most of the waves experimented, SW and LDN, have mixed behaviour; a part of the SW show a behaviour closer to short Boussinesq waves and part of the NW show long non-Boussinesq waves behaviour.

The comparison between the experimental and numerical SW propagation for C6a, with H = 15.5 cm, 50 cm stroke and d = 25 cm (Lima, 2020), shows that, although the numerical wave height is 25% less

than the laboratory measurement, the shape is similar to what was obtained experimentally. The wave displays a step-like shape and becomes unstable as the slope starts. Experimentally, a series of smaller waves are observed before the generated solitary wave, which are most probably a consequence of lateral wall reflections. For C13a, with H = 8.5 cm, 50 cm stroke and d = 25 cm (Lima, 2020), it is observed in the first wave gauge register that the N-wave crest is already in fission and its trough is larger than expected. The fission originates the division of the wave crest in two and in the following wave gauges several trailing waves are observed, as well as an increase of the crest's wave height.

For the 50 cm water depth experiments, the SW C6b, with H = 15.5 cm, 50 cm stroke and d = 50 cm (Lima, 2020), numerical wave height is 15% less than the laboratory measurement but the wave shapes are similar. There is a larger trough following the solitary wave. At the wave gauge located in the middle of the second slope–although following what is observed from the experiments–, the wave starts to rumble losing its shape. Afterwards, the wave crest assumes a step-like shape. Comparing the 50 cm N-wave physical experiments (H = 8.5 cm and 50 cm stroke) with the numerical simulations, is observed that the N-wave generated with the numerical wave-maker is closer to the input theoretical LDN-wave. At an early stage, the wave trough starts displaying several smaller waves, with increase of the wave crest tending to a solitary wave shape. As the experimental wave progressively decreases in height, in the numerical simulation the wave is continuously increasing. This could be related to the fact that bottom friction was not contemplated in the numerical simulation.

5. CONCLUSIONS

Laboratory experiments of solitary and LDN-waves on the wave basin and on a beach with two different slopes have been described. Measurements of the water surface elevation were retrieved from the physical experiments. The waves generated were characterizes according to their Stokes number. We found that for both solitary and LDN-waves the measured wave height H is systematically less than what was initially expected, when comparing with the theory and with the numerical simulations using the theoretical wave profile as input. The wave celerity formulations adopted for the solitary and N-waves seem to be adequate, when comparing measurements and simulations with olaFlow.

The comparison between the experimental and the simulations' results show overall good agreement for both the solitary and N-waves studied, although there is an underestimation of the numerical wave height. As future work, it is proposed to perform numerical tests with time-dependent wave celerity formulations, as it might lead to an increased accuracy in the obtained N-wave profile.

Acknowledgements

First author was supported by FCT grant SFRH/BD/96725/2013. Research partially supported by the Research Line ECOSERVICES, integrated in the Structured Program of R&D&IINNOVMAR: Innovation and Sustainability in the Management and Exploitation of Marine Resources (NORTE-01-0145-FEDER-000035), funded by the Northern Regional Operational Programme (NORTE 2020) through the European Regional Development Fund.

REFERENCES

Devolder B., Rauwoens P. and Troch P. (2017). Application of a buoyancy-modified κ – ω SST turbulence model to simulate wave run-up around a monopile subjected to regular waves using OpenFOAM®. *Coastal Engineering*, 125, 81–94.

Goring D. (1978). *Tsunamis – The Propagation of Long Waves onto a Shelf*. PhD Thesis, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology.

Goring D. and Raichlen F. (1980). The generation of long waves in the laboratory. In *Proceedings of 17th Conference on Coastal Engineering*, Sydney, Australia, 1980 (Edge B.L., ed.), 763–783. ASCE.

Higuera P. (2019). *olaflow*. https://olaflow.github.io/,

https://doi.org/10.5281/zenodo.1297012. Accessed: 2019-04-29.

Lima, V. V., Avilez-Valente, P., Baptista, M.A. and Miranda, J.M. (2019). Generation of N-waves in laboratory. *Coastal Engineering*, 148, 1-18.

Lima, V. V. (2020). *A Combined Model for Tsunami Wave Propagation, Dispersion, Breaking and Fluid-Structure Interaction.* (Unpublished doctoral dissertation). FCUL, Portugal.

OpenCFD Limited (2019). *OpenFOAM® - The Open Source CFD Toolbox*. https://www.openfoam.com/. Accessed: 2019-01-22.

Tadepalli S. and Synolakis C. (1994). The run-up of N-waves on sloping beaches. *Proceedings of the Royal Society London: Mathematical and Physical Sciences*, A445:99–112.

Tadepalli, S., Synolakis, C.E. (1996). Model for the leading waves of tsunamis. *Phys. Rev. Lett.* 77, 2141–2144.

Sazonalidade no oceano e atmosfera, junto ao Arquipélago da Madeira

Alves, J. M. R. (1,2); Tomé, R. (1); Caldeira, R. (1,2); Miranda, P. M. A. (1)

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

(2) Observatório Oceânico da Madeira, Agência Regional para o Desenvolvimento da Investigação Tecnologia e Inovação, Funchal, Madeira, Portugal

Resumo: As perturbações geradas no escoamento atmosférico e oceânico junto à ilha da Madeira originam uma grande variabilidade no vento e temperatura de superfície do mar à qual está associada uma grande incerteza. De modo a colmatar esta incerteza recorreu-se a uma simulação numérica do oceano com o modelo ROMS forçado com dados de uma simulação atmosférica WRF, para o período 1980-2018. Neste estudo é analisada a sazonalidade do vento e o seu impacto nas camadas superficiais do oceano, em particular junto aos extremos Este e Oeste da ilha, zonas caraterizadas por jatos intensos de vento que originam um enfraquecimento da estratificação do oceano junto à superfície e um consequente aumento da profundidade da camada de mistura, além de significativos valores nas correntes verticais.

Palavras-chave: arquipélago da Madeira, interface oceano-atmosfera, simulações numéricas, tip-jets.

1. INTRODUÇÃO

Analisar a variabilidade na temperatura da superfície do mar (tsm) contribui para reduzir uma das maiores incertezas nas observações meteorológicas e climatológicas. Isto porque uma parte significativa das condições atmosféricas, junto à superfície do oceano está ligada à tsm. Por exemplo, esta variável tem um papel relevante nas trocas de energia radiativa e turbulenta na interface atmosfera-oceano, no transporte vertical de energia, na modificação das camadas limites do oceano e da atmosfera, na absorção de gases com efeito estufa pelo oceano e no ciclo hidrológico. No entanto, a incerteza da temperatura à superfície do oceano é bem maior do que nos continentes, devido à escassez de medições *in situ*, a qual só parcialmente é colmatada por dados de satélite. Esta incerteza aumenta significativamente em regiões de grande variabilidade de tsm como é frequentemente o caso em redor de ilhas devido a perturbações locais nos fluxos atmosféricos e oceânicos. Neste estudo é analisada a região em redor da ilha da Madeira. Uma ilha montanhosa de origem vulcânica localizada a aproximadamente 900 km a sudoeste da Península Ibérica e a 700 km a leste da costa marroquina (fig. 1a). Os principais picos da ilha (3 deles acima de 1800m) têm uma orientação noroeste-sudeste, sensivelmente perpendicular ao vento alísio incidente. No oceano, a batimetria regional também é extremamente íngreme, observando-se frequentemente profundidades superiores a 2.000 m, a 25 km da costa. A orografia e batimetria acidentada exercem um impacto significativo na circulação oceânica e atmosférica regional, que pode levar a mudanças súbitas na intensidade e direção do vento e correntes, razão pela qual a região da ilha da Madeira é bem conhecida pela sua intensa atividade turbulenta (e.g. geração de eddies), com impacto a jusante, conforme documentado num estudo climatológico em Caldeira et al. (2014). Estudos anteriores focados na dinâmica da esteira da ilha, sugeriram a relevância de diferentes interações atmosfera-oceano na sua manutenção (Caldeira e Tomé, 2013). A elevada orografia da ilha também está na origem de dois jatos de vento intenso junto aos seus extremos longitudinais, denominados tip jets (Alves et al., 2020). Este estudo visa analisar a sazonalidade do vento e da temperatura do oceano em redor da ilha da Madeira, em particular serão analisados os efeitos dos tip-jets nas camadas superficiais do oceano.

2. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Com os objetivos acima mencionados, foram feitas duas simulações numéricas multi-decadais. Uma para a atmosfera e outra para o oceano. Primeiro, analisamos a simulação atmosférica do modelo Weather-Research and Forecast (WRF), de 1980 a 2018 (39 anos), feita com simulações mensais inicializadas com dados ERA-5 (Hersbach et al, 2020)e forçada periodicamente nas fronteiras com também com dados ERA-5, a mais recente reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Posteriormente, reunimos as variáveis de superfície simuladas numericamente pelo WRF (vento; humidade relativa; temperatura; radiação de longo e curto comprimento de onda, pressão e precipitação) a cada 3 horas, para forçar realisticamente a superfície do oceano, numa simulação com o modelo Regional Ocean Modelling System (ROMS), de 1980 a 2017, realizada em contínuo (sem recurso a re-arranques), forçada e inicializada periodicamente com dados da reanálise

oceânica SODA-v3.4.2 (Carton et al., 2018). Embora a simulação ROMS tenha sido inicializada a 1 de janeiro de 1980, devido ao spin-up do modelo, restringimos a nossa análise ao período 1983-2017 (35 anos), isto é, até ao último ano em que está disponível a reanálise SODA. Em ambas as simulações foram utilizados dois domínios computacionais idênticos, com uma configuração nesting bidirecional. O domínio externo com uma resolução de 9 km e o interno, onde é feita a maior parte da análise, com uma resolução de 3 km, tendo sido utilizados 60 níveis-sigma verticais no WRF e 40 níveis no ROMS, com uma resolução mais elevada junto à superfície O domínio interior para além da Madeira inclui também 2 pequenas ilhas localizadas a NW e SW, Porto Santo e Desertas, respetivamente. Os limites geográficos de ambos os domínios estão representados na figura 1a.

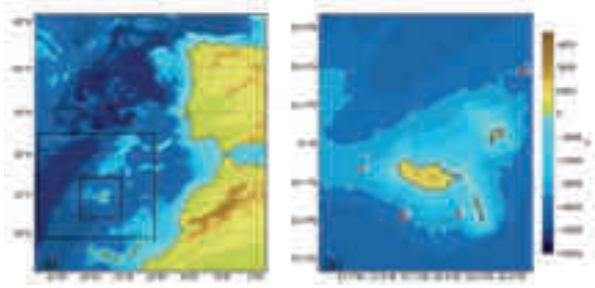


Fig 1 a) Topografia com dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e batimetria em redor da ilha da Madeira com dados da General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). Os limites geográficos dos dois domínios usados nos modelos WRF e ROMS estão representados pelos retângulos a negro. b) Triângulos a vermelho indicam localização das estações onde são calculados parâmetros estatísticos.

Os dois modelos numéricos aqui usados são frequentemente empregues em estudos científicos. Uma descrição abrangente do WRF pode ser encontrada em Skamarock et al. (2008) e uma descrição completa do ROMS é apresentada em Shchepetkin e McWilliams (2005).

2.1. Precisão do vento e da tsm simulados numericamente

Para avaliar a precisão do vento à superfície (10m) simulado numericamente, foram utilizados dados de deteção remota do Advanced Scatterometer (ASCAT), com uma resolução de 12,5 km (Verhoef et al., 2012). Os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela I foram calculados utilizando valores da passagem ascendente do ASCAT (com a passagem descendente obtém-se valores semelhantes), que na Madeira ocorre entre as 21h e 23h UTC e dados do WRF às 21h, para o período mais longo disponível coincidente entre os valores de satélite e da simulação numérica, isto é, de 2007 a 2018. Após o remapeamento das variáveis simuladas para a grelha de dados de satélite foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: viés, correlação no tempo e razão de desvio padrão. Estes parâmetros mostram uma elevada precisão do vento de superfície simulado em 4 locais próximos da Madeira (ver localização na Figura 1b). Os pontos 1 e 2 localizados próximo do máximo da intensidade do vento dos tip jets, o ponto 3 numa região a montante, não afetada pelo efeito da ilha no vento e o ponto 4 a sotavento. Os vieses calculados variam entre -0,15 e -0,83 m/s mostrando uma subestimação do vento no modelo, principalmente a sotavento (ponto 4). Os valores de correlação no tempo são elevados, variando entre 0,89 e 0,76, com o pior valor a sotavento. A variabilidade da velocidade do vento simulada é semelhante à observada, como indica a razão próxima de 1. Novamente, o pior valor encontra-se a sotavento, uma região caracterizada por uma grande variabilidade na velocidade e direção do vento.

Para validar a tsm simulada numericamente, usamos um conjunto de dados de satélite criado pela Climate Change Intiative (CCI) da European Space Agency (ESA), com uma resolução de 0,05º combinando dados de tsm do Advanced Very-High-Resolution Radiometer (AVHRR) e do Along Track Scanning Radiometer (ATSR). Para uma descrição completa do conjunto de dados (tsm) de satélite, o leitor deve consultar Merchant et al. (2019). Tal como para o vento, os parâmetros estatísticos mostram a robustez dos valores simulados, com um viés menor que 0,23ºC nos quatro pontos, uma sincronização muito alta entre o modelo e os dados do satélite, revelada por correlações temporais entre 0,96 e 0,97, e uma simulação realista da variabilidade observada, como indica a razão de desvios padrão de 1,04 ou 1,05.

Tabela I Parâmetros estatísticos (correlação, viés e desvio padrão) de velocidade do vento, em quatro pontos em redor da ilha da Madeira, para o período 2007-2018 (dados diários). Modelo versus dados de satélite.

vento superf.	corr	viés(m/s) (mod – sat)	dp_mod/dp_sat
1	0.86	-0.30	1.05
2	0.89	-0.15	1.00
3	0.87	-0.16	0.97
4	0.76	-0.83	1.15

Tabela II Parâmetros estatísticos (correlação, viés e desvio padrão) de tsm, em quatro pontos em redor da ilha da Madeira, para o período 1983-2017 (dados diários). Modelo versus dados de satélite.

tsm	corr	viés(ºC) (mod – sat)	dp_mod/dp_sat
1	0.97	-0.14	1.04
2	0.96	-0.22	1.05
3	0.97	+0.01	1.04
4	0.97	-0.09	1.05

3. RESULTADOS

3.1. Vento médio e sua sazonalidade

As médias sazonais da intensidade e direção do vento (Fig. 2), simuladas entre 1980 e 2018, mostram que ao longo do ano, a direção média do vento incidente, que constitui os alísios, não sofre alterações significativas na direção, sendo sempre do quadrante NE, já na intensidade do vento a montante da ilha observam-se valores mais elevados no Inverno (DJF) e Primavera (MAM), possivelmente devido à passagem do extremo meridional de perturbações frontais, do que no Verão (JJA) e Outono (SON). Próximo da ilha embora seja observada uma anomalia positiva junto aos extremos longitudinais ao longo de todo o ano, no Verão (JJA) observam-se ventos muito mais intensos, que constituem os tip-jets (Fig. 2).

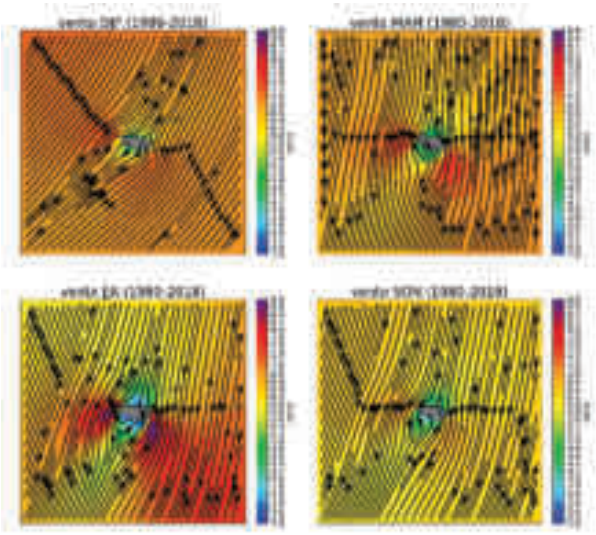


Fig 2 Velocidade média do vento sazonal (DJF, MAM, JJA e SON) em m / s e linhas de corrente do vento à superfície, para o período 1980-2018.

3.2. Impacto do vento no oceano

A sazonalidade da intensidade do vento e da radiação incidente (não mostrada) tem um forte impacto na sazonalidade na Profundidade da Camada de Mistura (PCM) calculada como a profundidade em que a diferença de densidade em relação à superfície não é superior a 0,3 kg.m^{-3}, (valor determinado tendo em conta as caraterísticas termohalinas do oceano em redor da Madeira). Na PCM (Fig.3) observam-se essencialmente duas estações, uma com valores mais profundos (80-120m) durante o inverno (DJF) e primavera (MAM), devido essencialmente à maior intensidade do vento ao largo e menor radiação incidente e outra com valores menores entre 20 e 35 m, durante o verão (JJA) e o outono (SON), devido à forte radiação incidente que implica uma intensa estratificação do oceano junto à superfície. Em JJA e SON é interessante notar um aumento local da PCM na zona do tip jet Este, que se deve ao efeito cumulativo do vento intenso associado a este jato e ao efeito da corrente descendente associada à vorticidade anticiclónica, observada neste extremo da ilha, conforme se mostra na Fig. 4 que representa a média da vorticidade relativa das correntes à superfície dividida pelo parâmetro de Coriolis (*f*) e a velocidade vertical média aos 20 metros de profundidade, na zona dos tip jets. No extremo oposto (Oeste) o esperado aumento de profundidade na PCM associado ao jato, não se observa por o seu efeito ser cancelado pela corrente ascendente associada à vorticidade ciclónica que se observa nesta região.

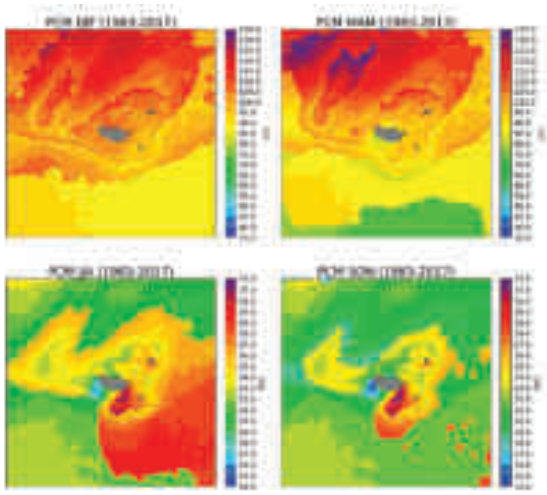


Fig 3 Sazonalidade da profundidade da camada de mistura, em metros. (nota: diferentes escalas de cores em DJF-MAM e JJA-SON).

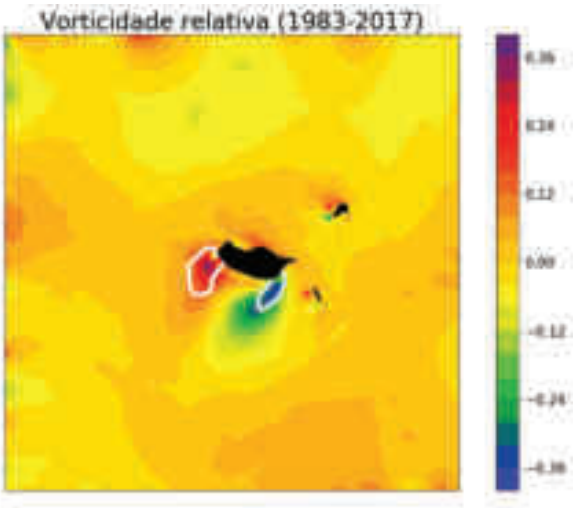


Fig. 4. Média da vorticidade relativa dividida pelo parâmetro de Coriolis (f) na superfície do oceano de 1983 a 2017, em JJA. Isolinha (linha branca) de velocidade vertical média a 20 m de profundidade de +/- 5m/dia (positiva a Oeste e negativa no Este).

4. DISCUSSÃO

A elevada resolução das simulações numéricas, o longo período multi-decadal analisado e a proximidade dos valores simulados aos observados com sensores a bordo de satélites, permite analisar com confiança os resultados alcançados. Neste estudo mostramos a forte sazonalidade dos tip-jets e o seu impacto nas camadas superficiais do oceano nomeadamente no referente à vorticidade das correntes à superfície e à velocidade vertical de sinais opostos em cada extremo da ilha. Estes resultados podem ter relevância no estudo da circulação costeira, com implicações no transporte de poluição marinha em redor da ilha ou no transporte de micro-organismos (eg. Fitoplâncton) essenciais na cadeia trófica dos organismos marinhos locais. Colocamos também a hipótese que o aquecimento regional na tsm, possa ser afetado pelo efeito dos jatos no oceano, pois a intensificação das correntes ascendentes a Oeste (não mostrado) cancelam, pelo menos em parte, o efeito do aquecimento global.

A aquisição regional de dados oceânicos continua a ser extremamente escassa, apesar de algumas campanhas oceanográficas recentes organizadas pelo Observatório Oceânico da Madeira, essencialmente focadas na esteira da ilha da Madeira. Seria importante ter observações in-situ que comprovassem os resultados mencionados neste estudo. Essas mesmas observações seriam também úteis em futuras simulações numéricas recorrendo a técnicas de assimilação de dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao ECMWF por disponibilizar a reanálise ERA5 e à ESA por disponibilizar dados de tsm. Também agradecemos a disponibilização da reanálise do oceano SODA e dos ventos ASCAT. Por fim, estamos gratos ao IDL por fornecer os recursos computacionais necessários para realização das simulações numéricas.

REFERÊNCIAS

Alves, JMR, Caldeira, RMA, Miranda, PMA. Dynamics and oceanic response of the Madeira tip-jets. Quaterly Journal of Royal Meteorological Society 2020; 1– 16. https://doi.org/10.1002/qj.3825

Caldeira, R.M.A. and Tomé, R. (2013) Wake response to an ocean-feedback mechanism: Madeira Island case study. Boundary-Layer Meteorology, 148, 419–436. https://doi.org/10.1007/s10546-013-9817-y

Caldeira, R.M.A., Stegner, A., Couvelard, X., Araújo, I.B., Testor, P. and Lorenzo, A. (2014) Evolution of an oceanic anticyclone in the lee of Madeira Island: in situ and remote sensing survey. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119, 1195–1216. https://doi.org/ 10.1002/2013JC009493

Carton, J.A., G.A. Chepurin, and L. Chen (2018), SODA3: a new ocean climate reanalysis, J. Climate, 31, 6967-6983, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0149.1

Merchant, C. J. et al. Satellite-based time-series of sea-surface temperature since 1981 for climate applications. Scientific Data 6, https://doi.org/10.1038/s41597-019-0236-x (2019).

Shchepetkin, A.F. and McWilliams, J.C. (2005) The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. Ocean Modelling, 9(4), 347–404. https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2004.08. 002.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.G. (2008) A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical Note 475+STR. https://doi.org/10.5065/D68S4MVH

Verhoef, A., Portabella, M. and Stoffelen, A. (2012) High-resolution ASCAT scatterometer winds near the coast. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(7), 2481–2487. https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2175001

Implementation and validation of an operational forecasting system for nearshore hydrodynamics with OPENCoastS

Nahon, A. (1); Fortunato, A.B. (1); Azevedo, A. (1); Oliveira, F. S. B. F. (1); Oliveira, J. N. C. (1); Rogeiro, J. (1); Oliveira, A. (1); Jesus, G. (1); Silva, P. A. (2); Freire, P. (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal. anahon@lnec.pt.

(2) Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Abstract: Knowledge and anticipation of storm impacts on coastal communities require accurate and timely characterization of nearshore circulation and water levels. To this aim, OPENCoastS provides operational tools which bring state-of-the-art hydrodynamic modelling within reach of coastal authorities. In the present communication, this online, open service is used to build a forecast system for the ocean beaches south of the Mondego river mouth. The system relies mainly on SCHISM modelling suite, forced with a global tide model and with pressure and wind fields originating from freely available sources; an implementation of WAVEWATCHIII in the North Atlantic provides the wave boundary conditions. SCHISM results are validated with historical offshore wave records and with waves and tidal data acquired at Cova-Gala beach and in the Mondego river estuary. Model's performance after this validation opens the way for the implementation of operational morphodynamic forecasts, as is currently being achieved within MOSAIC.pt project.

Key words: forecast, OPENCoastS, surge, tides, waves.

1. INTRODUCTION

Short-term predictions of coastal hydrodynamics are relevant to meet multiple societal needs. These include recreational bathing safety, commercial harbour management, or the mitigation of natural and man-made disasters. Methods to establish those predictions range from simple empirical relationships based on offshore waves and tidal predictions, to sophisticated models based on free-surface flow equations and coupled to models for spectral wave generation and propagation. Over the last two decades, modelling suites were developed to achieve such predictions, and some are now freely available (e.g. Delft3D, SCHISM, TELEMAC-MASCARET). Model domains and boundaries may be forced by forecasted tides, forecasted fields of atmospheric pressure and wind, and continental water inputs. Nowadays, these forcing are freely accessible from multiple sources online. Nonetheless, the technical skills for gathering the data and setting up the models, as well as the required access to supercomputers, still limit the use of this technology. The OPENCoastS platform (Oliveira *et al.*, 2020) was built to overcome those limitations and to bring the technology several steps closer to non-skilled users. Provided that the user is able to upload a formatted computational grid with an appropriate bathymetry, this online service allows to run the SCHISM modelling suite (Zhang *et al.*, 2016) in forecast mode, with the full spectrum of forcing covering the North Atlantic Ocean.

In the present communication, we aim at demonstrating the capacity of the system to simulate nearshore waves and water levels near and within Figueira da Foz harbour, which lies within the estuary of the Mondego river on the wave-exposed western coast of Portugal (*Fig. 1a*). Section 2 presents the implementation of the model over an area covering Figueira da Foz shelf to the inner estuary of the Mondego river, and over which measurements of off- and nearshore wave climate and of water levels across the estuary exist. The comparison of model results with measurements is then presented in Section 3. Finally, the last section discusses the quality and limitations of the hydrodynamic results, and draws the links between the presented hindcast and the forecast capabilities offered by OPENCoastS.

2. MODEL IMPLEMENTATION

2.1. Study area and in-situ data

The model was built to simulate the hydrodynamics near and within the Figueira da Foz harbour entrance (*Fig. 1b,c*). South of the harbour's southern jetty, the Cova-Gala water-front was the targeted area and was instrumented on March 2020 (Nahon *et al.*, 2020). The water-front consists in sandy beaches interrupted by five cross-shore groynes. On March 10 morning, at low tide, the dissipative beach between groynes E2 and E3 was surveyed and instrumented (*Fig. 1d*). A cross-shore profile of three pressure transducers (PT1-3) was deployed to measure wave parameters during an equinoctial tidal cycle. The gathered data completed an heterogeneous dataset composed of an offshore wave record (Barstow and Haug, 1994), a record of

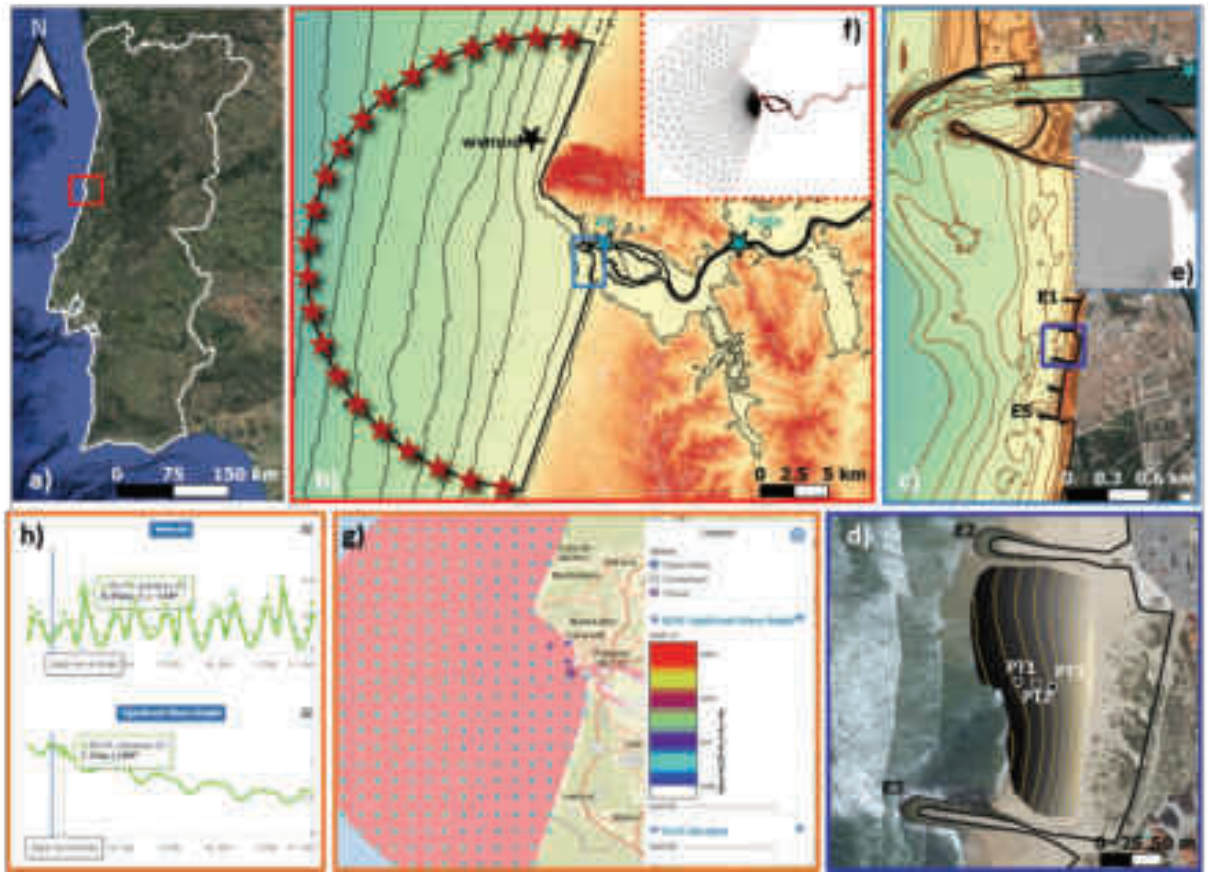


Fig. 1. SCHISM implementation in the Figueira da Foz harbour area; ***a)*** *study area location on the western coast of Portugal;* ***b)*** *Model domain boundary (bold black lines), on top of EMODNET digital terrain model (thin black lines stand for bathymetric contours at 10-meter interval and from 80 m depth to 10 m above chart datum), the red stars materialize points of the model's oceanic open boundary where offshore waves and tide are imposed, black and blue stars respectively indicate wave buoy and tidal gauge positions;* ***c)*** *zoom over the area of interest with the COSMO 2019 topo-bathymetric model on top of Google Satellite background, and with bathymetric contours at 2-meter interval, starting at 10 m depth chart datum, E1-E5 refer to the five groynes of the Cova-Gala waterfront;* ***d)*** *beach cell between groynes E2 and E3, where pressure transducers (PT1-3) were collocated on March 10, 2020, contour lines of the surveyed area are shown with a 0.5 m interval and start at +1 m chart datum, bold black line stands for the model boundary;* ***f-e)*** *SCHISM's horizontal unstructured grid, in red is the computational domain boundary and in black are the triangular grid elements with an edge length ranging from 2 km offshore to 20 m in the nearshore, harbour and river areas;* ***g-h)*** *examples of model output visualization in OPENCoastS: significant wave height and mean wave direction above water elevation and location of model's virtual stations (****g****), and 48-h forecast of current velocities and significant wave height at virtual stations (****h****).*

tidal elevation measured at Foja pumping station along the Mondego river (Azevedo *et al.*, 2012) and a record of elevation measured at the harbour tidal gauge (courtesy of the Portuguese Instituto Hidrográfico, IH). The location of the three monitoring stations is shown on *Fig. 1b*, and respectively interest the periods of January 1995 (wvmod), February 2012 (Foja) and March 2020 (IH). Therefore, the model was run for those three periods with the same computational grid and forcings.

2.2. Computational grid and bathymetry

The SCHISM modelling system uses a single unstructured grid to discretize the horizontal space. Here, it was used in depth averaged (2DH) mode, with a two-way coupling between the circulation and wave modules. Both modules were run over a single triangular grid composed of 49684 nodes and 94892 elements (*Fig. 1e,f*). The grid boundary was created with QGis software and the original triangulation was made using GMSH plugin (Lambrechts *et al.*, 2008). The inland boundary was digitized over Google Satellite imagery and follows coastal and harbour structures. Then, it follows the margins of the Mondego river main channel. The river bathymetry was used from Azevedo *et al.* (2012), the nearshore topo-bathymetric survey from August 2019 was downloaded from the COSMO monitoring program website, and the offshore bathymetry was extracted from EMODNET online platform. Over the entire domain, the bottom friction was represented using a Manning formulation, with Manning's parameter set to 0.023 $m^{-1/3}$.s, following Azevedo *et al.* (2012). In the wave model, wave breaking was parameterized using a Battjes and Janssen (1978) formula, with gamma parameter set to 0.68 to optimize the match between modelled and observed significant wave heights.

2.3. Open boundary conditions and model forcing

SCHISM's computational domain was forced using ERA5 reanalysed atmospheric fields (available within 5 days real time). The inverted barometer effect was imposed on the model oceanic boundary and wind drag was imposed over the whole domain. Combined with the inverted barometer were the tidal prediction issued from FES2014 (Carrere *et al.*, 2014). Wind fields were also used for wave generation within the domain as well as to force an unstructured WAVEWATCH III (WW3, WW3DG, 2019) model for the North Atlantic Ocean. Hindcasted WW3 spectra were interpolated onto SCHISM's offshore boundary points. The only arbitrary defined forcing was the river flow input which was set as 5 $m^3.s^{-1}$. Last but not least, the mean water levels in SCHISM for the three simulated period were defined after Antunes (2019).

3. RESULTS AND DISCUSSION (1)

3.1. Open coast waves and water levels

With the above detailed configuration, the model was run for January 1995, February 2012 and for March 2020. In January 1995, the modelled offshore significant wave height (Hs) was compared to observations from a directional wave buoy (*Fig. 2*). Observed and modelled values present an overall good match. In terms of average Hs, the model slightly underestimates observations (*Table I*) and seems to underestimate the wave height during the peak of storms (*Fig. 2*). In March 2020, offshore Hs was around 2 m when the PTs were deployed. Nearshore observations of Hs present a good matchwith observations, although at PT3 location, closest to the shore, the root mean square difference (Drms) reaches about 20% of the average Hs at this location. It is expected that the absence of wave reflection in the model could significantly contribute to this discrepancy. In terms of nearshore elevations, at the three locations the bias accounts for most of the total Drms. At this point, it was not established whether the observed offset would come from the model or the data. However, as described in the next section, the good match between the predicted

Table I. Bias and root mean square differences between modelled and observed significant wave height and elevation at the 5 locations indicated on Fig.1.

	Hs (m)		Elevation (m)	
	Bias	Drms	Bias	Drms
wvmod	-0.53	0.77	-	-
IH	-	-	-0.01	0.04
Foja	-	-	-0.07	0.12
PT1	0.11	0.13	0.15	0.15
PT2	-0.04	0.06	0.26	0.26
PT3	-0.16	0.18	0.13	0.14

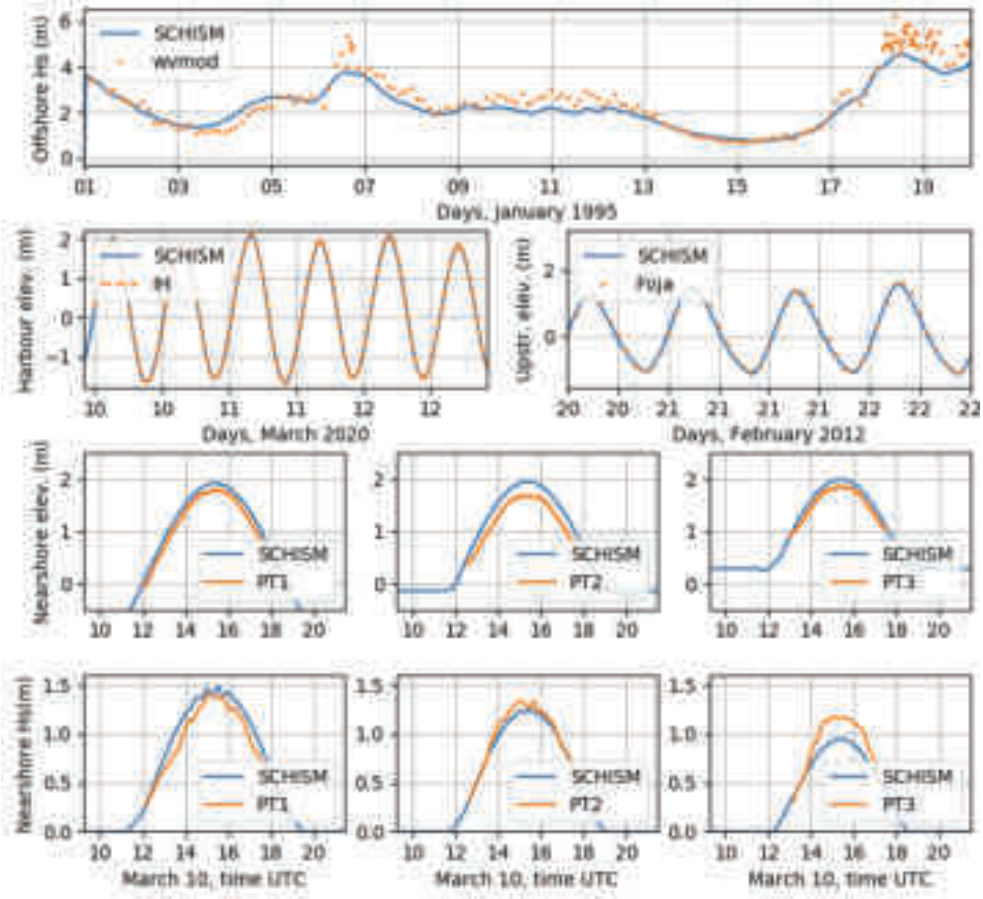


Fig. 2. Plots of modelled (blue lines) and observed (orange points and lines) elevation and significant wave height (Hs) for the different datasets available for validation, names indicated in the observation legends refer to locations indicated on Fig. 1b and 1d.

elevation and the harbour's tidal gauge, suggests that the offset would either come from an overestimated wave-induced set-up or a levelling error in the field data.

3.2. Estuarine water levels

The capacity of SCHISM to reproduce tidal propagation across the harbour entrance, and until the Foja pumping station 14 km upstream, was confirmed (*Fig. 2*). Indeed, modelled and observed elevation present an excellent match at both the IH tide gauge and the upstream station, with Drms values of respectively 4 cm and 12 cm (*Table I*).

4. DISCUSION (2) AND CONCLUSION

The above results, although perfectible, are in line with the performances described in the literature. A notable fact is that they were obtained with relatively little calibration analysis: decreasing the gamma breaking parameter from default 0.73 to 0.68 improved nearshore prediction of Hs, and increasing Manning's coefficient from default 0.020 $m^{-1/3}$.s to 0.023 $m^{-1/3}$.s optimized upstream tidal predictions. Beyond this, all other parameters remained untouched which attests of the maturity of the models that compose the SCHISM modelling suite. Additionally, apart from the grid generation, all the processing and gathering of the forcing data is transparent to any user of the OPENCoastS service. The main advantages for using the system were that, (1) the user does not need to to have access to a supercomputer to run the model, (2) to have the skills to compile and install the model and the required libraries, and (3) to, every day, download the atmospheric forcing and write/adapt the parameter files for he different modules of SCHISM. Therefore, it is expected that most GIS literate users, able to create a grid with available open source tools and online bathymetry, should also be able to produce 48-h forecasts within the whole North Atlantic Ocean, as shown in *Fig. 1g)* & *h)*, and with similar performance. The sole difference with the present implementation would be that, instead of using ERA5 reanalysis, the user would have to choose between GFS and ARPEGE atmospheric forecasts, respectively emanating from the US NOAA and the French Météo France. Ongoing works should soon bring additional evidence that these options maintain the predictions within an acceptable range of performance. Furthermore, like in the case of the online service, the results presented here relied on the use of unstructured WW3, which has not yet been as extensively tested as its structured counterpart. So, it is expected that ongoing testing should lead to improved sea state predictions at the peak of the storm. In terms of nearshore results, at least two developments should help improve model prediction. First, taking into account the wave reflection could help to predict the total Hs, which appears relevant for bathing safety applications. Then, more critical even than the gamma calibration, the availability of an up-to-date bathymetry is necessary for accurate predictions. Two ways to allow this are foreseen and are currently under development: using satellite-derived beach contours and/or constrained morphodynamics simulation to maintain updated the intertidal beach morphology.

Acknowledgements

The work presented in this communication was funded by the Portuguese Foundation for Science and technology (FCT), under the project MOSAIC.pt (PTDC/CTA-AMB/28909/2017). The authors thank the Hydrographic Institute for the tidal data.

REFERENCES

Antunes, C., (2019). Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st Century. J. Mar. Sci. Eng.

Azevedo, A., *et al.* (2012). Inundation in the ria de Aveiro and the Mondego estuary - Report 4: modeling inundation in the Mondego estuary, LNEC, report 219/2012 – DHA/NEC.

Barstow, S.F. and Haug, O. (1994). Wave data collection on the Coast of Portugal in the MAST WAVEMOD project, Technical Report. 42 p.

Battjes, J.A., and Janssen, J.P.F.M., (1978). Energy Loss and Set-Up Due to Breaking of Random Waves, Coastal Engineering 1978.

Carrere, L. *et al.* (2015). FES 2014, a new tidal model on the global ocean with enhanced accuracy in shallow seas and in the Arctic region, Geophysical Research Abstracts, 17, EGU2015.

Lambrechts, J. *et al.* (2008). Multiscale mesh generation on the sphere, Ocean Dyn. 58, 461–473. doi.org/10.1007/s10236-008-0148-3.

Nahon, A. *et al.* (2020). MOSAIC.PT FIELD CAMPAIGNS - Cova-Gala beach, March 2020, LNEC, report 000/2020 – DHA/NEC.

Oliveira, A. *et al.* (2020). OPENCoastS: An open-access service for the automatic generation of coastal forecast systems, Environ. Modell. Softw., doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104585.

WW3DG, (2019). User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III version 6.07, The WAVEWATCH III Dev. Group.

Zhang, Y.J. *et al.* (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, Ocean Model., doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.05.002.

The Marine Heatwaves in Mid-Latitudes of the Northeast Atlantic Ocean

Plecha, S. M. (1); Soares, P. M. M. (2)

(1) IDL/FCUL, Lisbon, Portugal, smplecha@fc.ul.pt.

(2) IDL/FCUL, Lisbon, Portugal.

Abstract: Marine Heatwave (MHW) events have been increasing all around the world, causing severe impacts on ecosystems and economic activities. In this study, the occurrence and characteristics of MHW events in the Mid-Latitudes of Northeast Atlantic are analyzed for the period 1982-2019, based on Sea Surface Temperature (SST) data collected from observations. The results show that the MHWs occur at a mean frequency of ~2 events per year with mean duration of 14 days. The maximum intensities recorded surpass 5º C in several locations of the domain, being the cumulative intensity higher in the west coast of France and Portugal, and at the Azores Archipelago. Two MHW events are illustrated being shown that the positive SST anomalies occur during anomalies in the air temperature.

Key words: extreme events, sea surface temperature.

1. INTRODUCTION

Over the last years several studies report the occurrence of Sea Surface Temperature (SST) extremes prolonged in time all over the world. These extremes called Marine Heatwaves (MHW, Hobday *et al*, 2016) can persist for several months impacting extended areas (Oliver *et al*, 2019). The impacts on ecosystems and economy reported are several and severe, such as damages or even losses of marine biodiversity (Straub *et al*, 2019; Thomsen *et al*, 2019; Hughes *et al*, 2017; Oliver *et al*, 2017) and changes in the industry of fisheries and aquaculture (Caputi *et al*, 2016; Chandrapavan *et al*, 2019; Cavole *et al*, 2016). Their drivers can be related to atmospheric or ocean conditions or even a combination of both (Hobday *et al*, 2016; Holbrook *et al*, 2019).

To correctly detect and analyze the MHW events occurrence it is crucial to have long SST records, in order to compute the local climatology and identify when the SST exceeds a certain threshold. The most common database used is the National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (Hobday *et al*, 2016; Holbrook *et al*, 2019; Smale *et al*, 2019; Frölicher *et al*, 2018; Oliver *et al*, 2018). All these studies reveal global increases of frequency, duration and intensity of MHW events along the available time record. Moreover, Oliver at al. (2018) pointing to 30 additional MHW days in average per year by the end of the 1982-2016 period (Oliver *et al*, 2018).

At the North Atlantic Ocean the MHWs reported occur mainly in the west side of the basin, related with Gulf Stream anomalies. While no MHW events have been reported at the mid-latitudes of the northeast Atlantic Ocean (MNEATL), they are expected to occur due to the increase of the ocean water temperatures, threatening fishing activity and economy, such as the cold water fish communities like sardines (e.g. Gamito *et al*, 2016).

In the current study the daily National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2 data is analyzed, in order to detect the occurrence of MHW events at the mid-latitudes of the Northeast Atlantic Ocean.

2. DATA AND METHODS

The Marine Heat Waves (MHW) events are identified following the methodology proposed by Hobday *et al* (2016). The Sea Surface Temperature (SST) data used is based on the daily National Oceanic and Atmospheric Administration Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2 data, thereafter NOAA OISSTV2, for the 1982-2019 period. This dataset has spatial resolution of 1/4º and is derived from remotely sensed SST by the advanced very high resolution radiometer (AVHRR) (Reynolds *et al*, 2007).

The methodology implemented by Hobday *et al* (2016) consists in computing the yearly SST climatology and a threshold (SST 90th percentile), based on a 30-year period. Both climatological mean and threshold are calculated at each grid cell for each calendar day. A MHW event is considered to occur when the SST exceeds the threshold for at least five consecutive days. When a maximum gap of less than two days occurs between events, they are considered as one single event. The characterization of the events is performed in terms of its duration and intensity. The duration is defined as the period over which the temperature is greater than the threshold value and the intensity is its temperature anomaly during the event. The averaged annual statistics are calculated at the domain considering the area-weighted method (Oliver *et al*, 2018). The current study area

encompasses the mid-latitudes of the northeast Atlantic Ocean (MNEATL) delimited at longitude by 35ºW – 0º and at latitude by 30ºN-50ºN. Within this domain are located the Southwest Europe and Northwest Africa as well as the Madeira and Azores Archipelagos (Figure 1).

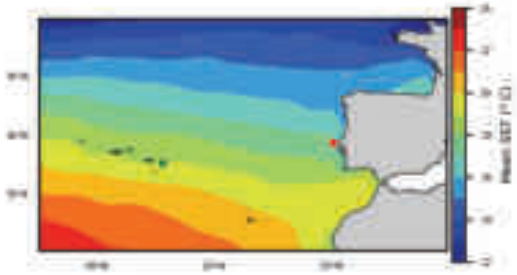


Fig. 1. Domain of study. The contours refer to the Mean Sea Surface Temperature obtained with NOAA OISSTV2, between 1982 and 2019. The red and green dots represent the stations where MHW events are analyzed.

In order to inspect the contribution of the atmospheric drivers for the events detected, the air surface temperature is retrieved from the atmospheric reanalysis ERA5 (Hersbach et al, 2020), for the MNEATL region and for the time period 1982-2019.

3. RESULTS

The MHW events in the MNEATL occur on average 1.99 times per year, ranging from 1.37 to 2.79 events per year (Figure 2 top panel). Spatially, the higher frequencies are observed southern than 35ºN and in the northwest Iberia Peninsula, therefore these regions are the most prone to the occurrence of these extremes.

The MNEATL events observed have mean duration of 14.27 days, with some small areas int the central region of the domain and in the French coast with events lasting more than 18 days (Figure 2 second panel). The events maximum intensities recorded are for almost all region over 2.8º C above the climatology, being identified maximum intensities over 4º C along the north and west boundaries of the region, in the west coast of France, northwest and south coast (between Sagres and Gulf of Cadiz) of Iberian Peninsula and west coast of Africa (Figure 2 third panel). The highest maximum intensities are identified at some localized areas of the MNEATL north and west boundaries as well as at the French coast, surpassing the 5º C above the climatological mean. In addition to the characteristics shown, the cumulative intensity of the events is computed through the integral of the intensity over the duration of the event (Figure 2 last panel). This metric show that the French coast, the west coast of Portugal and all the Azores region have on average cumulative intensities of more than 26º CDay, within the studied period.

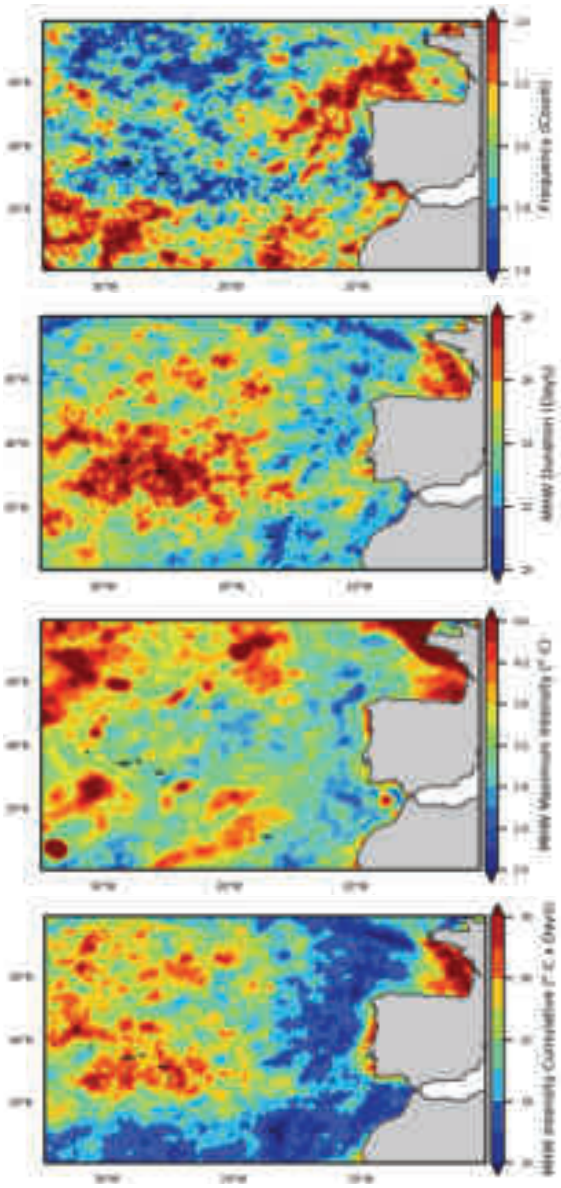


Fig. 2. Mean Marine Heatwaves frequency (top panel), duration (second panel), maximum intensity (third panel) and cumulative intensity (bottom panel) for the period 1982-2019.

All characteristics of the MHWs reveal high interanual variability and positive slopes for the period 1982-2019 (Figure 3, blue line). The frequency of occurrence slope of 0.064 events per year indicates an increase from ~1 to ~3 events per year on average between the initial records and the most recent ones. Also, a positive slope of 0.303 days for the events duration is related to an increase from ~2 to 15 days under the effect of MHWs. The yearly evolution of the MHWs maximum intensities shows that in the most recent 15 years the recorded ranges decreased to 0.5º C (mean of 1.6º C), while during the first two decades was 2.3º C (~1º C).

In the right y-axis of Fig.3 are illustrated the duration, maximum and cumulative intensities of the MHW events observed at the stations marked in Fig.1 (red and green dots). It is visible that in general both stations are under MHW events of similar duration

and maximum intensity. However, when computing the cumulative intensity, it is observed that the west station (located near Azores) endures stronger events. From this panel, two recent years stand out for each location: 2014 for the east station and 2017 for the west station.

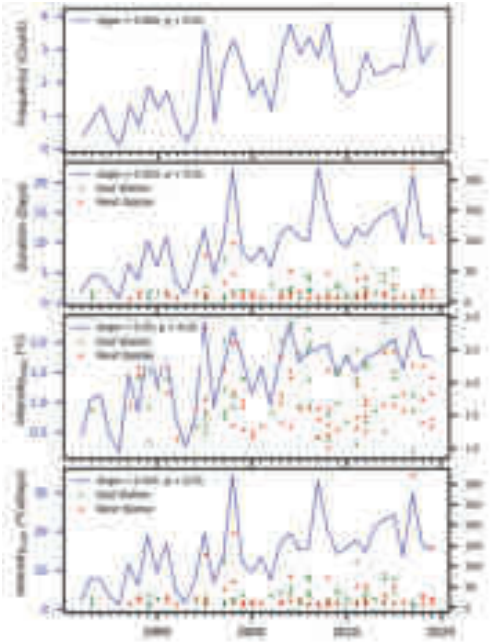


Fig. 3. MNEATL mean time series of the Marine Heatwaves properties: frequency (top panel), duration (second panel), maximum intensity (third panel) and cumulative intensity (bottom panel) of NOAA OISSTV2 SST data. The dots illustrate the properties at the east (green) and west (red) stations indicated in Fig.1.

3.1 2014 Event

In 2014 two strong MHWs are identified in the station located near the Portuguese coast, illustrated in Fig.4 as shaded areas. These events are separated for 13 days only, being the second one the strongest. The first event started at the beginning of September and lasted for 33 days, reaching the peak intensity of 2.54º C in mid-September. The second event started in mid-October and lasted for 46 days, reaching the intensity peak of 2.92º C in the beginning of November.
The spatial distribution of the SST anomalies during these 3 months (Fig.5 left panel) shows that these events are mainly coastal and linked to the air temperature positive anomalies (Fig.5 right panel).

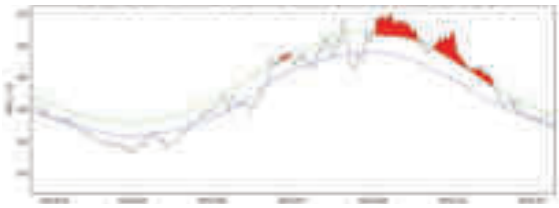


Fig. 4. Time series of the Sea Surface Temperature (SST) data recorded at the east station (red dot in Fig.1) by NOAA OISSTV2 during the year 2014 (black). The blue line illustrates the SST climatology and the green line the threshold (90th percentile), estimated through the 1982-2019 record. The red shaded areas are MHW events.

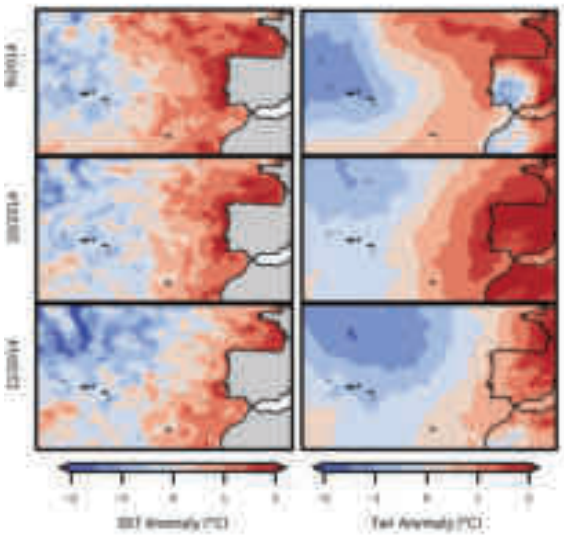


Fig. 5. Mean anomalies of Sea Surface Temperature (SST, left panel) and air temperature (right panel) during the 2014 event detected at the east station (red dot in Fig.1).

3.2 2017/2018 Event

From the beginning of September 2017 until mid-April 2018, a strong event is identified at the west station, located near Azores. This event lasted for 219 days and reached its maximum intensity of 2.26º C in mid March 2018 (Fig. 6), totalizing a cumulative intensity of 321.19ºCday.
The spatial distribution of the SST anomalies shows that almost all domain is under positive SST anomalies for the entire period (Fig. 7 left panel). The SST anomaly is highly concurrent with an also positive anomaly observed at the air temperature (Fig. 7 right column).

4. CONCLUSIONS

In this study, the MHW events in the MNEATL is analyzed for the period 1982-2019 based on observations.
For the study area, the MHWs occur at a mean frequency of ~2 events per year, lasting for 14 days. In several locations, the maximum intensities recorded surpass the 5º C, being obtained high cumulative intensities in the west coast of France and Portugal, and in the vicinities of the Azores Archipelago.
For a station at the east side of the domain two strong events that occurred in 2014 are detected, separated by only 13 days, with peak intensities of 2.54º C and 2.92º C and with durations of 33 and 46 days.
For a station located at the west side of the study area, a strong event with duration of 219 days and maximum intensity of 2.26º C is identified.
During both events, strong positive air temperature anomalies are identified, implying that this may be the driver to the occurrence of these events.

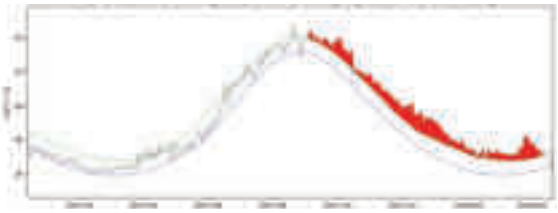


Fig. 6. Time series of the Sea Surface Temperature (SST) data recorded at the west station (green dot in Fig. 1) by NOAA OISSTV2 during 2017/2018 (black). The blue line illustrates the SST climatology and the green line the threshold (90th percentile), estimated through the 1982-2019 record. The red shaded area is a MHW event.

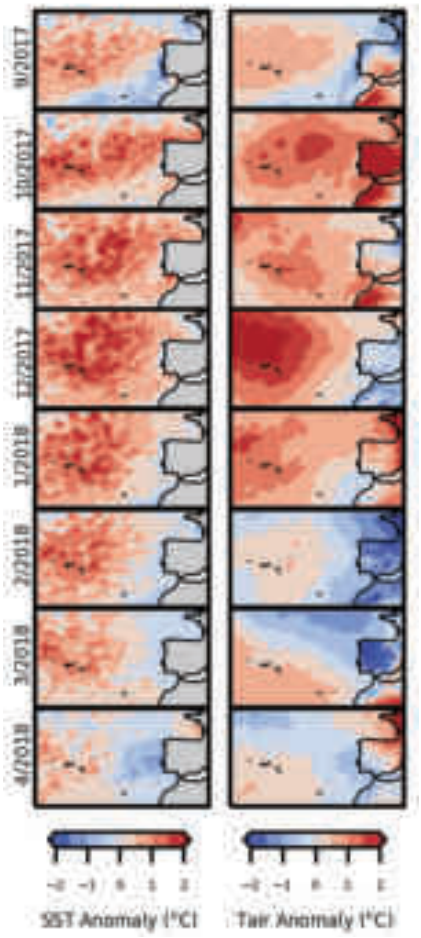


Fig. 7. Mean anomalies of Sea Surface Temperature (SST, left panel) and air temperature (right panel) during the 2017/2018 event detected at the west station (green dot in Fig.1).

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial support FCT through project UIDB/50019/2020 – IDL, funded by FCT. The authors would like to acknowledge to NOAA High Resolution SST data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at https://www.esrl.noaa.gov/psd/.

REFERENCES

Caputi, N. *et al* (2016). Management adaptation of invertebrate fisheries to an extreme marine heat wave event at a global warming hot spot. *Ecology and Evolution*, 6, 3583–3593. DOI: 10.1002/ece3.2137

Cavole, L.M. *et al* (2016). Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography*, 29(2), 273–285. DOI: 10.5670/oceanog.2016.32

Chandrapavan, A. *et al* (2019). The Decline and Recovery of a Crab Population From an Extreme Marine Heatwave and a Changing Climate. *Frontiers in Marine Science,* 6, 510pp. DOI: 10.3389/fmars.2019.00510

Frölicher, T.L. *et al* (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature,* 560(7718), 360-364.

Hersbach, H. *et al* (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1–51. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Hobday, A.J. *et al* (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227-238. DOI: 10.1016/j.pocean.2015.12.014

Holbrook, N.J. *et al* (2019). A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nature Communications,* 10, 2624. DOI: 10.1038/s41467-019-10206-z

Hughes, T.P. *et al* (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature,* 543, 373–377. DOI: 10.1038/nature21707

Hussain, *et al* (2019). pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software,* 4(39), 1556 DOI: https://doi.org/10.21105/joss.01556

Oliver, E.C.J. *et al* (2017). The unprecedented 2015/16 Tasman Sea marine heatwave. *Nature Communications,* 8, 16101. DOI: 10.1038/ncomms16101

Oliver, E.C.J. *et al* (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications,* 9, 1324. DOI: 10.1038/s41467-018-03732-9

Reynolds, R.W. *et al* (2007). Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *Journal of Climate*, 20(22), 5473-5496. DOI: 10.1175/2007JCLI1824.1

Smale, D.A. *et al* (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change,* 9(4), 306-312. DOI: 10.1038/s41558-019-0412-1

Straub, S.C. *et al* (2019). Resistance, Extinction, and Everything in Between – The Diverse Responses of Seaweeds to Marine Heatwaves. *Frontiers in Marine Science*, 6, 763pp. DOI: 10.3389/fmars.2019.00763

Thomsen, M.S. et al (2019). Local extinction of bull kelp (Durvillaea spp.) due to a marine heatwave. *Frontiers in Marine Science,* 6, 84. DOI: 10.3389/fmars.2019.00084

Comparação de dados maregráficos em tempo quase-real

Carinhas, D. (1); Infante, P. (2); Martinho, A. (3); Vasquez, F. (4)

(1) Instituto Hidrográfico; IIFA/Universidade de Évora, dora.carinhas@hidrografico.pt.

(2) CIMA/IIFA e DMAT/ECT, Universidade de Évora.

(3) Marinha Portuguesa.

(4) Instituto Hidrográfico.

Resumo: Questões relacionadas com a qualidade das medições do mar tornaram-se importantes com a modernização dos equipamentos, estudos de alterações climáticas e com as recentes preocupações do aumento do nível médio do mar. Nas últimas décadas muita atenção tem sido dada ao desempenho dos marégrafos, especialmente no contexto do programa Sistema Global de Observação do Nível do Mar – GLOSS. A meta, definida pelo GLOSS, de 1 cm entre medições de equipamentos adjacentes é motivada por aplicações mais exigentes do que os tradicionais trabalhos em hidrografia, nomeadamente a calibração de dados de altimetria por satélite. Foram aplicados métodos clássicos na análise de dados maregráficos, por exemplo: comparação das diferenças entre as séries temporais de dois equipamentos e cálculo da raiz quadrática média (rms) da série temporal das diferenças; o teste de Van de Casteele também foi revisitado. Este estudo permitiu encontrar um erro/desvio médio ~1,13 cm entre dois equipamentos.

Palavras-chave: erro de medição, maré, nível do mar, observações *in situ*.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) gere a maior rede de observações maregráficas nacionais, operando e mantendo 18 estações maregráficas em cooperação com entidades públicas ou privadas.

O conhecimento da maré tem especial interesse em zonas costeiras, nomeadamente para a hidrografia e geodesia, segurança da navegação (em canais, estuários e portos), execução de projetos de engenharia costeira (como a construção de pontes, docas e quebra-mares), estudos de processos biológicos e geológicos, estudos de alterações climáticas e ainda para atividades recreativas e pesca (Pugh, 1987).

As questões relacionadas com a qualidade das medições de maré tornaram-se mais importantes com a modernização dos equipamentos e as recentes preocupações com o aumento do nível médio do mar. Assim, nas últimas décadas, muita atenção tem sido dada ao desempenho da maré, especialmente no contexto do programa GLOSS (IOC 1997, Merrifield et al. 2010).

No entanto, sistemas capazes de armazenar e transmitir grandes quantidades de dados permitem que marégrafos monitorizem de forma fina ou rigorosa fenómenos interessantes como ondas de tempestade ou tsunamis. Como resultado do crescente interesse em dados do nível do mar de maior qualidade e maior frequência, as redes de monitorização maregráfica têm sofrido desenvolvimentos técnicos significativos. Os tradicionais medidores de flutuadores mecânicos foram, progressivamente, substituídos por medidores de maré eletrónicos equipados com sensores acústicos, de pressão e (mais recentemente) de radar. Durante este processo, testes de comparação foram realizados e os seus resultados foram publicados (Woodworth e Smith 2003). Os métodos clássicos aplicados para analisar os dados de tais equipamentos (Martin et al. 2005) incluem técnicas como:

(i) análise de séries temporais das diferenças calculadas entre a medição do marégrafo e a medição padrão ou de referência;

(ii) cálculo da raiz do erro quadrático médio (rmse) da série temporal das diferenças;

(iii) visualização dos dados de um equipamento maregráfico contra outro (gráfico de dispersão) e;

(iv) cálculo da inclinação da tendência de regressão linear entre as duas séries do nível do mar; esta inclinação expressa as sensibilidades distintas dos medidores para a amplitude das marés.

Este interesse pela qualidade das medições de maré também está patente no site da UNESCO/IOC (www.ioc-sealevelmonitoring.org), no qual 25% dos marégrafos exibidos usam tecnologia de radar.

No entanto, devido à incorporação relativamente recente desses sensores modernos nas redes maregráficas, ainda há falta de informações sobre o seu comportamento de longo prazo e a sua adequação para se estimar as tendências do nível do mar. A maioria dos testes de comparação mencionados acima usaram dados horários para determinar se os marégrafos atendiam aos requisitos de precisão GLOSS de 1 cm (IOC 1997), mas não avaliaram a fiabilidade dos dados de alta frequência (significando um intervalo de amostragem de alguns minutos) ou a estabilidade a longo prazo dos sensores.

Neste trabalho, abordaremos essas questões, utilizando dados de dois equipamentos maregráficos

de radar, com medições simultâneas do nível do mar. Apresentaremos ainda uma série de técnicas de comparação de dois sistemas de medição para avaliar se os marégrafos instalados na Península de Setúbal são comparáveis.

2. QUALIDADE DAS MEDIÇÕES

Desde 23 de março de 2017, estão a ser registadas as alturas das marés em dois marégrafos radar instalados na mesma estação maregráfica do cais ferrys de Tróia (Rio Sado); a localização e os registos de marés, de minuto a minuto, do dia 18 de janeiro de 2018 são mostrados na Figura 1.

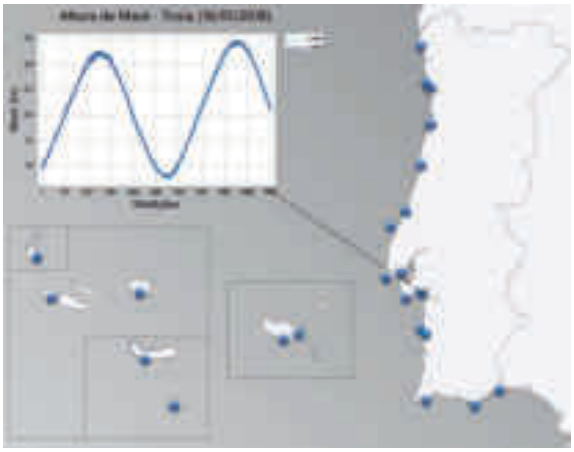
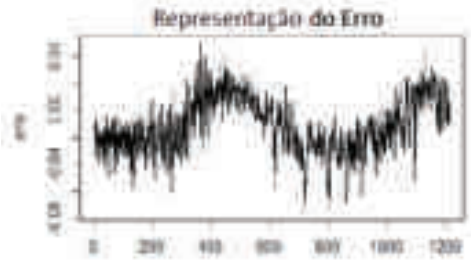


Fig. 1. Rede Maregráfica Nacional (fonte: Instituto Hidrográfico).

As diferenças (ou desvios) entre os dois equipamentos foram calculados apresentados na Figura 2.



minutos

Fig. 2. Série temporal dos erros/desvios calculados da diferença das leituras dos dois equipamentos maregráficos.

A diferença das medições apresenta um desvio médio de 1,13 cm (em valor absoluto) com desvio-padrão de 1,9 cm.

Foi então construído o gráfico de dispersão e encontrado o declive da regressão linear (Figura 3).

A regressão linear permitiu definir a equação $Y = 1{,}005X - 0{,}022$. O coeficiente de correlação igual 0,9995 é evidência de uma forte relação entre as medições dos dois equipamentos, ou seja, os dois marégrafos são rigorosos, mas não precisos entre si.

Em qualquer processo de produção, nomeadamente produção de dados maregráficos, existe sempre uma quantidade inerente de variabilidade. Com o objetivo de diferenciar entre as inevitáveis causas aleatórias e as causas determinísticas apresenta-se, na Figura 4, uma Carta de Controlo Shewhart para valores individuais (erros). Esta carta trata-se de um método gráfico que permite, facilmente, detetar a presença de causas determinísticas.

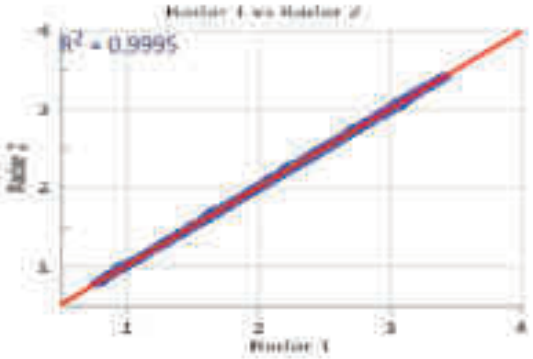


Fig. 3. Declive da regressão linear $Y = a + bX$ entre as medidas dos marégrafos radar.

O teste de Shapiro-Wilk permitiu avaliar a normalidade da variável Erro, com p-value = 0, 481 > α = 0,05, assim não rejeitamos a hipótese de que os erros/desvios têm distribuição aproximadamente normal, condição necessária para a aplicação da carta de controlo.

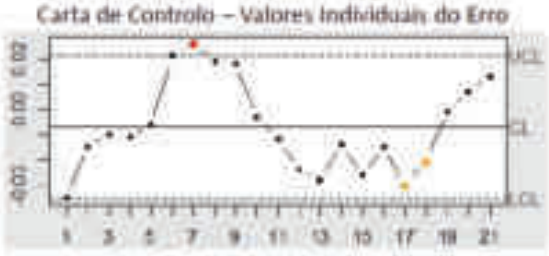


Fig. 4. Carta de Controlo para observações individuais.

Para um processo sob controlo estatístico (estável), o índice de capacidade determina o que pode ser esperado para o processo em relação às especificações (Figura 5). Os índices de capacidade do processo podem ser estabelecidos somente para um processo estável ao longo do tempo (sob controle). O índice Cpm é definido, quando os dados seguem uma distribuição normal, e pretendemos avaliar a capacidade global do processo em relação à dispersão da especificação e ao alvo.

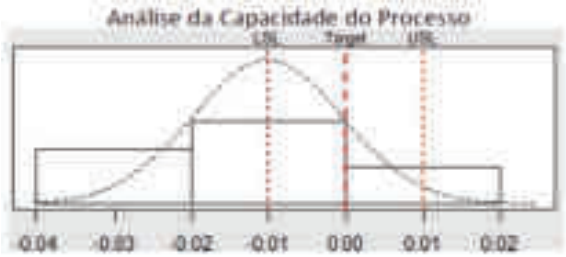


Fig. 5. Análise da capacidade do processo para os erros encontrados entre os dois equipamentos.

Em geral, valores de Cpm mais elevados, superiores a 1,33, indicam um processo mais capaz enquanto que valores mais baixos indicam que talvez o processo precise de melhorias (Montgomery, 2013).
Na nossa análise, Cpm = 0,236 que < 1,33 (Intervalo de Confiança (95%): [0,145; 0,328]) o que é indicativo de uma variabilidade grande, além disso o processo não está centrado. É de esperar 72222 ppm de erros/desvios individuais que não cumprem as especificações definidas pelo GLOSS.

O teste de Van De Casteele foi concebido, em 1962, para avaliar o desempenho da mecânica de marégrafos com flutuadores. O GLOSS, em 1985, recomendou a sua aplicação a todos os tipos de equipamentos. Este teste consiste em comparar leituras entre uma sonda manual e as leituras dos marégrafos, em diferentes ciclos de maré, os resultados são utilizados para produzir um gráfico com o nível do mar no eixo dos *yy* e as diferenças no eixo dos *xx* (Lennon, 1968). A sonda manual é usada como instrumento de referência assumindo que as suas medições são mais precisas do que as do equipamento a comparar (IOC, 1985; Le Roy, 2006). Os resultados também dependem da habilidade do operador da sonda manual, por isso, erros humanos não podem ser totalmente descartados.
A Figura 6 apresenta os resultados da aplicação do Teste de Van de Casteele aos marégrafos radar.



Fig. 6. Teste Van de Casteele.

Este teste vem confirmar os resultados obtidos através do estudo da análise da capacidade do processo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da precisão e da exatidão das observações nunca está terminada, há que continuar a comparar medições e avaliar as variações dos resíduos após remover as constituintes harmónicas e comparar as constantes harmónicas obtidas, em cada registo maregráfico, após um ano de dados.

O teste de Van de Casteele foi revisitado e demonstrou ser uma ferramenta útil na avaliação da precisão dos marégrafos; foi ainda avaliada a Capacidade do Processo para diagnosticar se os registos de alturas de maré são capazes de satisfazer os requisitos do GLOSS.

Este trabalho teve por objetivo apresentar uma avaliação das medições de alturas de maré, entre dois equipamentos instalados na mesma estação maregráfica (Tróia). Os métodos clássicos foram aplicados aos dados e permitiram encontrar um erro/desvio médio ~1,13 cm e estimar 72222 ppm de registos, minuto a minuto, que não cumprem as especificações definidas pelo GLOSS.

REFERÊNCIAS

Foreman, M. G. G. (1977). Manual for tidel heights analysis and prediction. Patricia Bay, Sidney, B.C: Institute of Ocean Science, (Pacific Marine Science Reports 77-10).

IOC. (1985). Manual on sea-level measurement and interpretation. Volume I: Basic procedures. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals & Guides 14, 84 pp.

IOC. (1997). Global Sea Level Observing System (GLOSS) - Implementation plan. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Technical Series No. 50, 91 pp & annexes.

Lennon, G. W. (1968). The evaluation of tide gauge performance through the Van de Casteele test. Cah. Oceanogr., 20 ,867-877.

Le Roy, R., 2006: Evaluation des télémètres radar pour la mesure des hauteurs d'eau (Assesment of the radar sensors for the measurement of the sea level). EPSHOM, Rapport d'étude 001/06, 49 pp.

Martín B., Pérez B., Álvarez Fanjul E. (2005). The ESEAS-RI sea level test station: reliability and accuracy of different tide gauges. Int. Hydrogr. Rev. 6: 44-53. E. Alvarez Fanjul B. Martín, B. Pérez. The eseas-ri sea level test station: reliability and accuracy of different tide gauges. Int. Hydrogr. Rev, 6:44-53, 2005.

Merrifield M., Aarup T., Allen A., Aman A., Bradshaw E., Caldwell P., Fernandes R.M., Hayashibara H., Hernandez F., Kilonsky B., Martin Miguez B., Mitchum G., Pérez Gómez B., Rickards L., Rosen D., Schöne T., Szabados M., Testut L., Woodworth P., Wöppelmann G., Zavala J. (2010). The Global Sea Level Observing System (GLOSS). In: J. Hall, D.E. Harrison and D. Stammer (eds.), Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations

and Information for Society" Conference (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009. ESA Publication WPP-306 (in press).

Montgomery D. C. (2013). Statistical Quality Control. Wiley, 7ª Edition.

Pugh, D. T. (1987). Tides, Surges and Mean Sea Level. Wiley.

Woodworth P.L., Smith D.E. (2003). A one-year comparison of radar and bubbler tide gauges at Liverpool. Int. Hydrogr. Rev. 4: 2-9.

Apoio à tomada de decisão sobre a praticabilidade das barras

Madeira, F. (1); Alves, M. (1); Pinto, J. P. (1); Guerreiro, R. (2); Grosso, N. (3); Almeida, S. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. fabio.madeira@hidrografico.pt.

(2) Direção-Geral da Autoridade Marítima.

(3) DEIMOS Engenharia SA.

Resumo: No âmbito do projeto SAGA está a ser desenvolvida uma ferramenta de apoio, a fim de facilitar o processo de decisão dos Capitães de Porto. Esta ferramenta permitirá identificar situações de condicionamento e inibição da navegação nas entradas e saídas dos portos, e que cuja contribuição possa ser relevante na avaliação diária. Todo este trabalho irá basear-se num esquema de aprendizagem na qual as decisões dos Capitães de Porto e as variações ambientais, tais como condições atmosféricas, agitação marítima e correntes de maré, são confrontadas. A metodologia aplicada neste estudo envolve: aquisição e tratamento de dados meteo-oceanográficos e AIS, a inclusão do modelo de circulação costeira de alta resolução (DELFT3D) e o uso de uma rede neuronal. Os resultados expectáveis permitirão melhorar a prontidão e a antecipação na decisão beneficiando a operacionalidade dos portos em estudo, aumentando a sua competitividade e melhorando as condições de trabalho dos vários operadores portuários.

Palavras-chave: agitação marítima, apoio à decisão, correntes de maré, DELFT3D, rede neuronal.

1. INTRODUÇÃO

O projeto SAGA (Sistema de Apoio à Gestão Portuária) incluído no domínio da Vigilância Marítima Integrada e coordenado pelo Programa Operacional Mar2020, com financiamento do Fundo Europeu dos Assuntos Marítimos e das Pescas, tem como objetivo desenvolver um serviço operacional cuja contribuição seja pertinente na avaliação diária, da responsabilidade da Autoridade Marítima Nacional, da praticabilidade das barras. O recurso a esta ferramenta de apoio à decisão permitirá a identificação de situações condicionantes e inibidoras da navegação nas entradas e saídas dos portos com base num esquema de aprendizagem, efetuada pela rede neuronal, onde são confrontadas as decisões dos Capitães de Porto e as variações ambientais que influenciam essas decisões. Essas condições podem ser meteorológicas, de agitação marítima e de corrente de maré. Este trabalho surge na continuação dos estudos realizados no âmbito do projeto SIMOcean (System for Integrated Monitoring of the Ocean) no caso demonstrativo intitulado "Índice do Estado do Mar nas Aproximações aos Portos". A metodologia utilizada no projeto SIMOcean engloba a inclusão de um modelo de simulação da agitação marítima de alta resolução e de uma rede neuronal, com vista a sua aplicação a 4 portos da zona marítima Norte (Viana do Castelo, Póvoa do Varzim, Aveiro e Figueira da Foz) (Alves *et al*., 2017).

Após a apresentação dos resultados do projeto SIMOcean às Capitanias da zona Norte, surgiu o interesse no alargamento desta aplicação a outros portos (Vila do Conde, Nazaré e Portimão), atualizando a metodologia com a inclusão de um modelo de circulação costeira (DELFT3D), envolvendo de forma mais ativa elementos da Autoridade Marítima Nacional. A metodologia aplicada neste estudo inclui a aquisição e tratamento de dados meteo-oceanográficos (altura significativa, período de pico, direção de pico, dispersão da onda, maré e ventos) e dados AIS, a utilização de um modelo de circulação costeira de alta resolução (DELFT3D) e o recurso a uma rede neuronal.

É esperado que os futuros resultados da rede neuronal permitam melhorar a prontidão e precisão na decisão dando benefício à operacionalidade dos portos em estudo. É expectável também o aumento da competitividade e melhoramento das condições de trabalho dos vários operadores portuários.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo foi implementada para os portos de Vila do Conde, Nazaré e Portimão. Numa fase inicial foram efetuadas duas abordagens: aquisição, tratamento e representação dos dados AIS (*Automatic Identification System*) assim como a preparação dos dados meteo-oceanográficos necessários para a utilização do modelo DELFT3D.

2.1. AIS

Graças aos recursos facultados pela Marinha, foi possível efetuar o download e tratamento dos dados AIS. O sistema AIS é um mecanismo que visa o aumento da segurança do tráfego marítimo mediante um fluxo de transmissão de dados. As embarcações equipadas com o sistema AIS podem ser rastreadas pelas estações AIS posicionadas ao longo da linha de

costa, ou no caso de estarem fora do alcance das redes terrestres, através de satélites equipados com recetores especiais AIS que ajudam na gestão de um largo número de assinaturas. Funciona também como uma *caixa negra*, ou seja, são armazenados na memória dados importantes sobre a navegação que vão contribuir para a explicação das causas de vários problemas e, consequentemente, para a sua futura resolução. No presente trabalho foram tidos em conta os parâmetros referentes à localização geográfica das embarcações assim como o respetivo período temporal.

De modo a verificar se os azimutes de entrada definidos para cada porto no Roteiro da Costa Portuguesa estavam a ser tidos em conta, efetuou-se uma representação espacial dos dados AIS para cada um dos casos de estudo (Vila do Conde, Nazaré e Portimão) (Fig. 1 a 3).

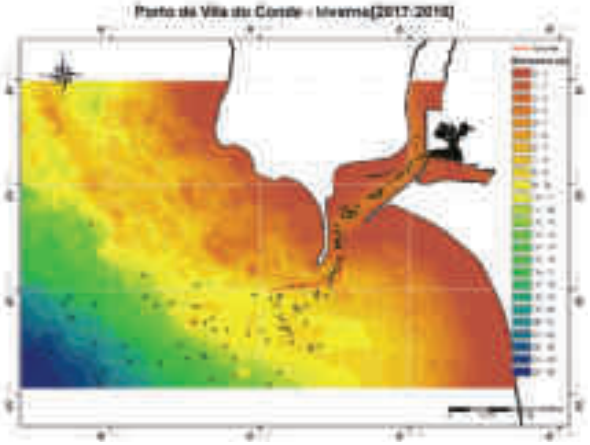


Fig. 1. Representação espacial dos dados AIS (localização geográfica das embarcações com frequência de amostragem de 5 minutos), batimetria e azimute de entrada para o porto de Vila do Conde, referente aos meses de Inverno para o período de 2017 a 2018.

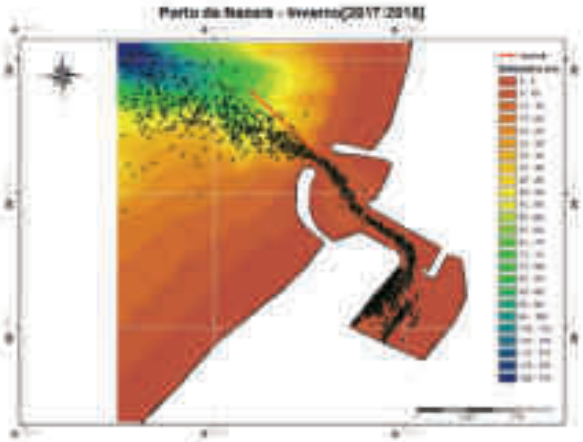


Fig. 2. Representação espacial dos dados AIS (localização geográfica das embarcações com frequência de amostragem de 5 minutos), batimetria e azimute de entrada para o porto da Nazaré, referente aos meses de Inverno para o período de 2017 a 2018.

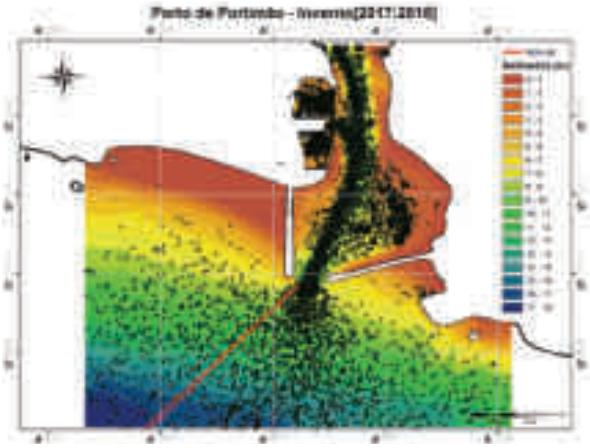


Fig. 3. Representação espacial dos dados AIS (localização geográfica das embarcações com frequência de amostragem de 5 minutos), batimetria e azimute de entrada para o porto de Portimão, referente aos meses de Inverno para o período de 2017 a 2018.

2.2. Dados Meteoceanográficos

No presente estudo foram tidos em conta vários parâmetros, oceanográficos e meteorológicos, considerados relevantes. Em relação aos dados oceanográficos, os principais parâmetros de agitação marítima foram a altura significativa da onda, direção de pico, período de pico e dispersão de onda, utilizados a partir das soluções do modelo numérico de geração de onda WaveWatch III (Tolman, 2002) com uma resolução espacial de 0.01º, efetuado para a costa portuguesa e provenientes do Centro GEOMETOC Marítimo. Os dados horários de maré foram utilizados com recurso à rede de marégrafos do Instituto Hidrográfico. Os dados meteorológicos utilizados foram os ventos com origem no ECMWF e fornecidos pelo IPMA, com uma resolução espacial de 0.1º.

Os dados meteoceanográficos obtidos foram preparados para integrar o modelo DELFT3D com um intervalo temporal de 6 horas.

2.3. Modelo DELFT3D

O modelo DELFT3D pode ser considerado um sistema constituído por cinco módulos numéricos. Dois destes módulos são relevantes para o presente estudo: Delft3d-WAVE e Delft3d-FLOW. O módulo Delft3d-WAVE é utilizado como forçador da parte das ondas e recorre ao modelo numérico espectral de 3ª geração SWAN para simulação da agitação marítima. O módulo Delft3d-FLOW é utilizado para a componente hidrodinâmica focando o cálculo do campo de correntes.

Também com recurso a duas ferramentas incluídas no modelo (RFGRID e QUICKIN) foi possível criar malhas numéricas assim como efetuar o tratamento da batimetria, entre outros parâmetros.

No presente estudo, o módulo de agitação marítima Delft3d-WAVE efetua simulações mensais com um passo temporal de três horas. Foi tido em

consideração um sistema de malhas encaixadas, no qual as malhas exteriores, de menor resolução, servem de condição de fronteira para as malhas interiores (Fig. 4 a 6 e Tabela I). Esta resolução permite obter melhores resultados na malha interior, poupando também tempo de computação, em comparação com uma corrida de apenas uma malha de alta resolução em todo o domínio.



Fig. 4. Representação das malhas exterior (amarelo) e interior (verde) para Vila do Conde.

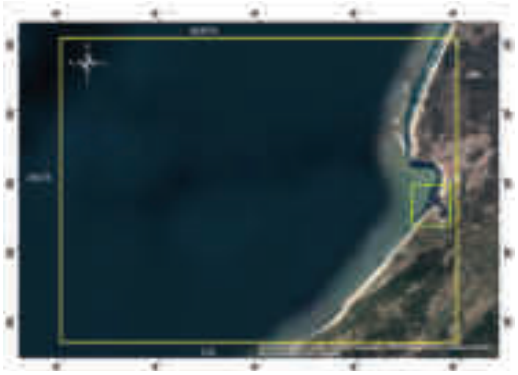


Fig. 5. Representação das malhas exterior (amarelo) e interior (verde) para a Nazaré.

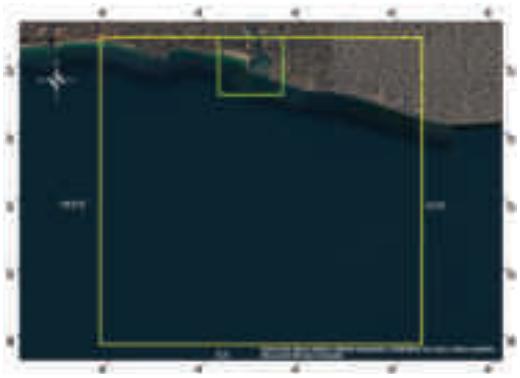


Fig. 6. Representação das malhas exterior (amarelo) e interior (verde) para Portimão.

As fronteiras implementadas para a simulação do módulo WAVE, em ambas as malhas, utilizam os principais parâmetros da agitação marítima (altura significativa da onda, direção de pico, período de pico e dispersão de onda).

As fronteiras implementadas para a simulação do módulo FLOW, nas malhas exteriores, incluem duas fronteiras de *Newmann* e uma fronteira de elevação de maré. Para a simulação nas malhas interiores o módulo FLOW inclui duas fronteiras de correntes (provenientes da malha exterior) e uma fronteira de elevação da maré. Na Tabela I. podem-se observar todas as malhas exteriores e interiores utilizadas no DELFT3D assim como as suas dimensões (área exterior e interior) e resoluções espaciais (Δx e Δy).

Tabela I. Dimensão e resolução espacial para os portos de estudo.

	Área ext. (Km^2)	Área int. (Km^2)	Δx ext. (m)	Δx int. (m)	Δy ext. (m)	Δy int. (m)
Vila do Conde	177.5	3.7	460	27	423	22
Nazaré	156.9	2.1	418	15	414	20
Portimão	200.9	7.3	430	32	512	36

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caso demonstrativo de Vila do Conde

Para o presente caso demonstrativo é necessária a definição de um período temporal que implique uma possível decisão, de barra condicionada ou fechada, por parte do Capitão de Porto.

De forma a verificar a existência de eventos extremos de agitação marítima para simulação do modelo, recorreu-se aos avisos locais emitidos pelas capitanias. Através desses avisos foi possível obter informação sobre um período correspondente a barra fechada. O período escolhido para o presente caso de estudo vai de 21 de janeiro de 2019 a 23 de janeiro de 2019. De modo a validarmos esta informação, recorreu-se à rede de observação sistemática do IH, nomeadamente à boia oceânica localizada ao largo de Leixões, de modo a comprovar a existência do evento extremo (Fig. 7).



Fig. 7. Série temporal da altura significativa (hm0) e altura máxima (hmax) de onda ao largo de Leixões para o período de 21 de janeiro de 2019 a 23 de janeiro de 2019.

Após a comparação dos dados provenientes da boia oceânica de Leixões com os avisos locais emitidos pela capitania procedeu-se à corrida do modelo, o qual produziu os resultados visíveis na Fig. 8.

Segundo os resultados, é possível verificar-se um comportamento da altura significativa e da direção de pico coerente com a evolução da tempestade.

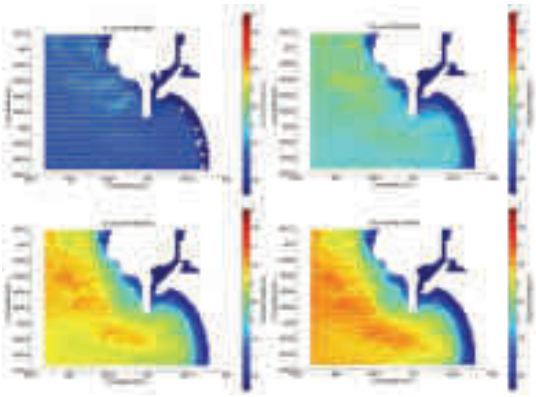


Fig. 8. Representação espacial da altura significativa e direção de pico para o porto de Vila do Conde. Superior esquerdo: timestep a 21jan2019 06:00h; Superior direito: timestep a 22jan2019 06:00h; Inferior esquerdo: timestep a 23jan2019_06:00; Inferior direito: timestep a 23jan2019_18:00h.

Segundo os resultados, é possível verificar-se um comportamento da altura significativa coerente com a evolução da tempestade. Dada a necessidade de validação destes valores, comparou-se a altura significativa do modelo com a informação da Boia Oceânica de Leixões (Fig 10).

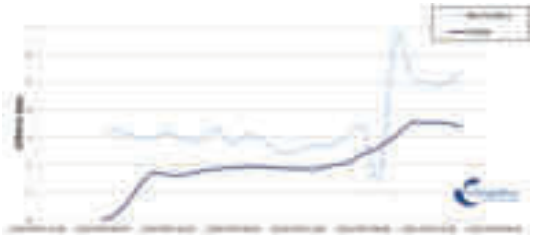


Fig. 10. Comparação dos dados de altura significativa do modelo com os dados de altura significativa da boia oceânica de Leixões para o período de 21 de janeiro de 2019 a 23 de janeiro de 2019.

Verifica-se um desfasamento na evolução da altura significativa no primeiro dia que pode estar correlacionado com facto da corrida ter sido efetuada apenas para três dias, que correspondem aos dias do fecho da barra. Em relação à corrente (Fig. 11) verifica-se concordância com a evolução do evento extremo.

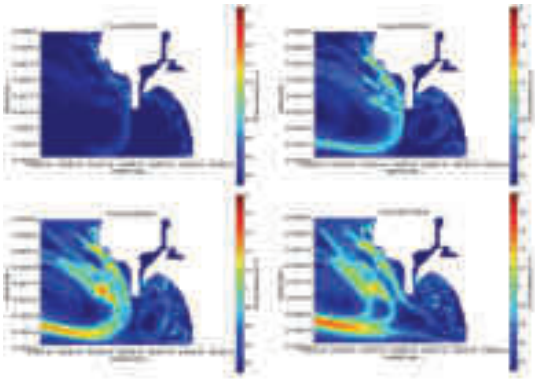


Fig. 11. Representação espacial da corrente para o porto de Vila do Conde. Superior esquerdo: timestep a 21jan2019_06:00h; Superior direito: timestep a 22jan2019_06:00h; Inferior esquerdo: timestep a 23jan2019_06:00; Inferior direito: timestep a 23jan2019_18:00h.

A ondulação gera corrente, ou seja, a existir intensificação da ondulação na zona de rebentação poderá promover mais corrente, o que possivelmente justificará o comportamento da corrente na Fig. 11.

4. REDE NEURONAL

Após obtenção dos resultados do modelo DELFT3D, segue-se para o último passo deste estudo que corresponde à utilização de uma rede neuronal, cujo esquema se pode verificar na Fig 11.

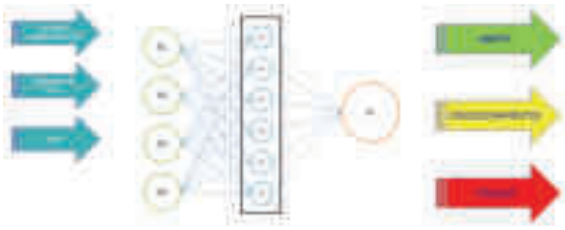


Fig. 12. Esquema da rede neuronal. Esquerda: principais parâmetros meteo-oceanográficos para entrada na rede; Centro: camada intermédia que contêm uma série de nós e combinações entre os parâmetros de estudo; Direita: índices resultantes da rede.

Esta rede neuronal é um conjunto de interações entre os vários parâmetros de entrada, que basicamente vão aprendendo entre si e ao longo do processo (Cortez *et al*., 2000), e são treinados de modo a encontrar uma correlação de causa-efeito entre as decisões dos capitães de Porto e a hidrodinâmica. Serão efetuadas várias combinações entre os parâmetros de entrada de forma a encontrar o melhor ajuste às decisões dos Capitães de Porto. Depois de treinada a rede, passa a ser operacionalizada sendo que, sempre que introduzirmos um conjunto de dados hidrodinâmicos na rede, o resultado será um índice que poderá corresponder a barra aberta, barra condicionada ou barra fechada.

5. CONCLUSÕES

Em suma os resultados do modelo são promissores o que poderá garantir, *à posteriori*, melhores resultados da rede neuronal. Contudo, as soluções de agitação marítima e correntes de maré carecem de uma maior componente de validação. Ainda assim no futuro, a utilização de dados espectrais como condição de fronteira poderá garantir uma otimização destes resultados assim que se passar a sistema operacional. É expectável que os resultados da rede neuronal coincidam em boa medida com as observações dos Capitães de Porto.

REFERÊNCIAS

Alves, M., Pinto, J.P., Almeida, S., Mota, P., Jorge da Silva, A., Deus, R., Almeida, N. (2017) – *Índice do Estado do Mar nas Aproximações aos Portos*.

Cortez, P., Neves, J. (2000) – *Redes Neuronais Artificiais*.

Tolman, H.L. (2002) – *User manual and system documentation of WAVEWATCH – III Version 2.22. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 222, 133 pp.*

Análise da energia de ondas infragravíticas na Baía do Espírito Santo, Brasil

Colaço, G. (1); Gallo, M. (1); Parente, C. (1); Pinheiro, L. (2); Fortes, J. (2); Delpuppo, D. (3); Freitas, T. (3)

(1) Rio de janeiro Federal University, Rua Moniz Aragão 360, Bloco 1, Rio de Janeiro, Brasil. guilhermecolaco@oceanica.ufrj.br, marcosgallo@oceanica.ufrj.br, parente@peno.coppe.ufrj.br

(2) National Laboratory for Civil Engineering, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisbon, Portugal. lpinheiro@lnec.pt, jfortes@lnec.pt

(3) Vale S.A., Praia de Botafogo, 186 - Salas 501 a 1901, Rio de janeiro, Brasil. danielly.delpupo@vale.com, thieres.freitas@vale.com

Resumo: A energia das ondas infragravíticas na Baía do Espírito Santo foi investigada através de duas campanhas de medição de ondas em três locais distintos. A variação da energia infragravítica ao longo do tempo foi analisada em conjunto com a evolução do espectro direcional das ondas gravíticas, com o propósito de identificar uma possível relação entre as características das ondas longas e curtas. Quatro faixas de frequência foram utilizadas para particionar o espectro direcional de energia das ondas gravíticas, para observar a evolução destas ao longo do tempo. Nos eventos energéticos de ondas gravíticas medidos ao largo da baía, o aumento da energia na faixa infragravítica só ocorreu em ambos os pontos internos, de forma similar, quando as duas faixas de períodos dominantes do espectro gravítico eram maiores que 9s. Nas outras ocasiões, a região central apresentou maiores amplificações que o ponto nas imediações do Porto de Tubarão.

Palavras-chave: ondas gravíticas, ondas infragravíticas, ondas longas.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a dinâmica de ondas infragravíticas têm vindo a aumentar nos últimos anos. Estas ondas possuem períodos comumente entre 25-250s e em geral são geradas a partir da ocorrência de um grupo de ondas gravíticas (Munk, 1949; Tucker, 1950). Especialmente em regiões portuárias, trabalhos como o de Okihiro *et al.,* (1993) e Rabinovich (2009) apontam estas ondas como uma das principais forçantes de seiches costeiros em baías e portos de pequena escala, o que chama ainda mais atenção para estes locais, que frequentemente possuem grande importância econômica. Nesta escala espacial, destaca-se no Brasil o Porto de Tubarão, localizado na Baía do Espírito Santo (BES). Operado pela companhia brasileira Vale S.A., este porto comporta o acesso dos navios do tipo *Valemax*, que possuem capacidade de transporte de 400.000 toneladas de minério de ferro, sendo um dos maiores navios graneleiros do mundo, além de diversos outros, o que o torna um dos principais terminais portuários do Brasil da atualidade.

Muito embora o clima de ondas gravíticas do Espírito Santo seja foco de atenção de diversos estudos nos últimos anos (Soares e Chacaltana, 2003; Piumbini, 2009; Nogueira, 2014), existem poucas informações sobre as ondas infragravíticas que incidem na região, especialmente utilizando medições *in-situ*. Este trabalho tem como objetivo investigar o comportamento das ondas infragravíticas (longas) incidentes na BES durante duas campanhas de medições, observando a evolução da energia desta faixa de frequência com as características das ondas gravíticas (curtas) incidentes.

2. METODOLOGIA

2.1. Conjunto de dados

Medições de ondas feitas com ADCP's foram realizadas em três pontos distintos: um na região central da BES, outro nas imediações do Porto de Tubarão e outro na região ao largo desta, como mostra a Figura 1. A primeira campanha de medições foi realizada entre os dias 19 e 31 de Janeiro de 2013, estando compreendida no verão local. A segunda campanha ocorreu entre os dias 29 de Julho e 23 de Agosto de 2013, no inverno, período associado a maior incidência de eventos energéticos denominados de "Mau Tempo" sob o ponto aspeto das ondas curtas da região.

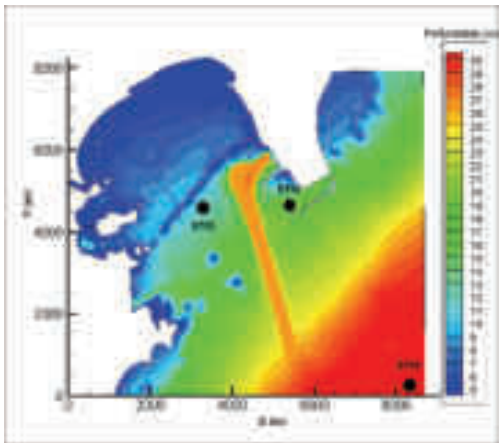


Fig. 1. Disposição dos equipamentos de medição de ondas na região da Baia do Espírito Santo, Brasil. A profundidade local é referida ao Zero Hidrográfico do Porto de Tubarão - Espírito Santo.

2.2. Processamento dos dados de onda por faixa de frequência

As medições foram processadas utilizando-se os registos de pressão e velocidades horizontais dos equipamentos para a obtenção dos espectros direcionais de energia, sendo utilizados quatro segmentos de 512s por *busrt* para o cálculo da Transformada Rápida de Fourier (FFT). A energia da das faixas longas foi calculada entre 0.004Hz e 0.04Hz (25 a 250s), com 178 bandas de frequência. Já o espectro de ondas curtas foi calculado entre as faixas de 0.04 a 0.25 (4 a 25s), com 128 bandas de frequência. A altura e períodos representativos das ondas longas (*H-infragravítico* e *T-infragravítico*) foram calculados de forma análoga ao realizado para o calculo da altura significativa de onda (H_s) e período de pico (T_p) das ondas gravíticas, em função do momento espectral de ordem $m0$ (Equações 1 e 2) dos grupos de frequência correspondentes:

$$m_{0_{ig}} = \int_0^{360} \int_{0.004}^{0.04} S(f,\theta) df d\theta \qquad (1)$$

$$m_{0_{gw}} = \int_0^{360} \int_{0.04}^{0.25} S(f,\theta) df d\theta \qquad (2)$$

onde $m_{0_{ig}}$ e $m_{0_{gw}}$ são os momentos espectrais de ordem 0 das ondas infragravíticas e gravíticas, respetivamente, $S(f,\theta)$ a energia associada ao estado de mar, f a frequência das ondas e θ as direções.

2.3. Evolução da energia infragravítica

Para os pontos no interior da baía (ST02 e ST03), além das alturas e período das ondas longas, foram calculadas as amplificações da energia das ondas longas de cada hora, representadas pela razão entre a energia observada no ponto analisado e no ponto ao largo (*H/Hu*). Apenas foram calculados os valores de *H/Hu* nos momentos em que havia concomitância de medições entre os 3 sensores. Estes valores são apresentados nas Figuras 2 e 3.



Fig.2. Evolução da altura (painel superior), fator de amplificação (painel central) e período das ondas infragravíticas (painel inferior) nos três pontos de medição durante o mês de Janeiro de 2013.



Fig. 3. Evolução da altura (painel superior), fator de amplificação (painel central) e período das ondas infragravíticas (painel inferior) nos três pontos de medição durante o mês de Agosto de 2013.

Em geral, as alturas das ondas longas no ponto ST03 foram as maiores registadas entre os sensores, seguidas pelas encontradas no ST02 (Tabela I), o que era de se esperar devido ao processo de empolamento das ondas ocorrer ao longo da propagação da onda conforme a profundidade diminui (Battjes *et al.,* 2004). No entanto, em alguns momentos, a amplificação nos pontos ST02 e ST03 é muito próxima, como pode-se perceber nos dias 01 e 03 de Agosto na Figura 3. Os períodos das ondas longas mantiveram-se maioritariamente abaixo dos 85s, salvo nas ocasiões de maior aporte energético, onde se pode observar um maior espalhamento da energia entre as faixas de frequências.

Tabela I. Parâmetros estatísticos das ondas infragravíticas no interior da BES calculados para as duas campanhas de medições.

	JANEIRO		AGOSTO	
	ST02	ST03	ST02	ST03
H-infragravítico (Média, centímetros)	0.7	1	1.2	1.8
H-infragravítico (Máximo, centímetros)	1.7	2.9	4.8	5.1
H-infragravítico (Percentil90, centímetros)	1.2	1.7	1.6	2.6
H/Hu (Média)	1.048	1.642	1.033	1.630
H/Hu (Máximo)	2.034	3.423	2.333	4.366
T-infragravítico (Média, segundos)	52.280	48.585	69.453	56.755
T-infragravítico (Percentil90, segundos)	51.000	52.000	85.000	73.000

Como forma de observar a relação entre o aumento da energia das ondas longas e a composição do espectro direcional de ondas curtas gravíticas incidentes, foi utilizada a *Directional Analisys with Adaptative Techniques* – DAAT (Parente, 1999). A técnica pode ser entendida como um tipo de particionamento do espectro direcional de ondas, na qual a energia é integrada em faixas de frequências especificas, e então é calculada a direção principal de cada uma das faixas. O espectro direcional das ondas curtas foi particionado levando-se em consideração 4 faixas de períodos: de 22s a 16.6s; de 16.6s a 9.01s; de 9.01s a 6.2s; e de 6.02s a 4s.

A evolução do espectro direcional de ondas gravíticas feito com a DAAT foi analisada com a *Plotting the Evolution of the Directional Spectrum* - PLEDS (Parente, 1999), apresentada nas figuras 4 e 5. A cada uma das faixas de frequência da DAAT foi atribuída uma cor que a distingue das demais na evolução do espectro direcional ao longo dos dias. Paralelamente a PLEDS das ondas curtas, a energia das ondas longas nos pontos ST02 e ST03 foram plotadas, em caráter adirecional, com o propósito de se visualizar a variação deste parâmetro em cada um dos pontos na medida em que o espectro direcional gravítico incidente à baía evolui, também com cores distintas dos demais elementos.

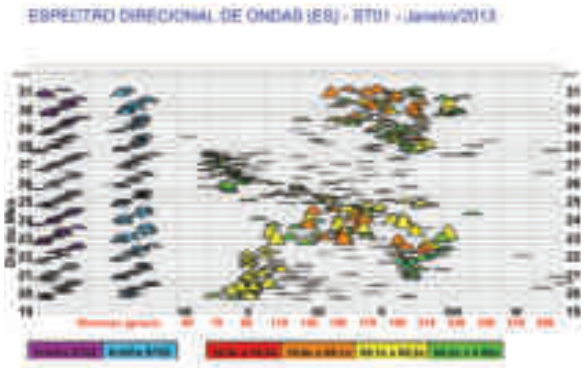


Fig. 4. Evolução da energia das ondas gravíticas no mês de Janeiro de 2013 no ponto ST01 (Ao largo da BES). As dimensões dos elementos vermelhos, laranjas, amarelos e verdes são proporcionais à energia contida em cada um dos intervalos de períodos de onda indicados na legenda (barra inferior). As dimensões dos elementos violetas e ciano são proporcionais à atura das ondas da faixa infragravítica para cada um dos pontos indicados da legenda.

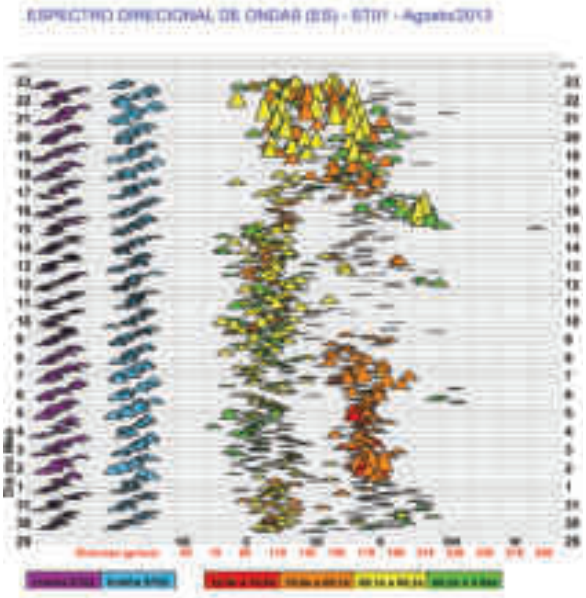


Fig. 5. Evolução da energia das ondas gravíticas no mês de Agosto de 2013 no ponto ST01(Ao largo da BES). As dimensões dos elementos vermelhos, laranjas, amarelos e verdes são proporcionais à energia contida em cada um dos intervalos de períodos de onda indicados na legenda (barra inferior). As dimensões dos elementos violetas e ciano são proporcionais à atura das ondas da faixa infragravítica para cada um dos pontos indicados da legenda.

É possível observar que, em ambas as campanhas, existem duas direções principais nas quais as ondas gravíticas se apresentaram ao largo da Baía: Na direção Este-Sudeste, onde em sua maioria foram registrados períodos até 9s; e de direção Sul, onde em geral se encontram as ondas de maior período dos registros. A campanha de Janeiro/2013 apresentou menores energias, se propagando nas direções principais de forma alternada na maioria do tempo. Já na campanha 2, as ondas de Sul e de Este-Sudeste possuem maiores energias e períodos, além de estarem presentes concomitantemente em diversos momentos, atribuindo, assim, uma bimodalidade mais definida ao espectro de energia nos referidos instantes.

Na campanha 1 (Janeiro/2013), as duas principais faixas de energia que compõem o espectro direcional são contidas entre 16.6s a 9.01s e 9.01s a 6.2s, representadas pelas faixas laranja e amarela, respetivamente, como pode ser visto na Figura 4. Ainda nesta campanha, os momentos de aumento da energia das ondas longas no ponto ST02 não acompanharam em magnitude a energia observada no ponto ST03, como pode ser visto nos picos energéticos ocorridos entre os dias 22 e 25 e entre dos dias 29 a 31 de Janeiro/2013 na Figura 2.

Em Agosto de 2013 (campanha 2, Figura 5), a energia das ondas curtas se apresenta maior de maneira geral, também com o domínio das faixas laranja e amarelas, porém com uma maior ocorrência de energia contida na faixa vermelha, que representa as ondas de período entre 22s e 16.6s. Nos dias em que as faixas de frequência dominantes são a vermelha e a laranja (de

01 a 03 de Agosto), o aumento de energia das ondas longas no interior da baía se dá de forma aproximadamente equivalente nos dois pontos ST02 e ST03 (Figura 3). Isto já não ocorre entre os dias 18 a 23 de Agosto, quando apesar de ser registrado um pico de energia praticamente de mesma altura que o registrado entre os dias 01 a 05 no ponto ST03, desta vez o ponto ST02 não apresentou aumento significativo em relação à condição de energia ao largo da baía, remetendo as situações encontradas em Janeiro, quando as duas faixas de frequência dominantes eram a laranja e a amarela.

3. CONCLUSAO

Foi possível observar que as energias de ondas longas se apresentaram maiores no período de campanha de inverno, que também apresentou as maiores ocorrências de eventos energéticos das ondas curtas. Em situações onde as duas faixas de energia dominantes das ondas curtas eram entre 22s-16.6s e 16.6s-9.01s (faixas vermelha e laranja), o aumento da energia das ondas longas se deu de forma similar no ponto central da baía e nas imediações do Porto de Tubarão. Já quando os eventos de alta energia se concentravam entre 16.6s-9.01s e 9.01s-6.2s (faixas laranjas e amarelas), o aumento significativo das alturas de infragravidade era percebido somente no ponto central da baía (ST03). Conjuntos de dados em outros períodos e em locais distintos da baía devem ser analisados juntamente com o auxílio de outras ferramentas como modelação numérica a fim de se identificar um possível mecanismo de distribuição da energia de infragravidade nestes diferentes pontos em função do espectro de direcional das ondas incidentes ou de outros fenómenos que ocorram na região.

Agradecimentos

Agradece-se à empresa Vale S.A. pela concessão dos dados utilizados para o desenvolvimento deste estudo e aos projetos BLUESAFEPORT- FA_04_2017_016 e To-SEAlert system, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Battjes, J.A., Bakkenes, H.J., Janssen, T.T., van Dongeren, A.R., 2004. Shoaling of subharmonic gravity waves. *Journal of Geophysical. Research* 109, 15p.

Munk W H. 1949. Surf beats. *EOS Transaction American Geophysical Union*, 30(6): 849–854.

Nogueira, I. C. M. (2014). Caracterização do Clima de Ondas na Bacia do Espírito Santo através de Modelagem Numérica [dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Okihiro, M., Guza, R. T., & Seymour, R. (1993). Excitation of Seiche Observed in a Small Harbor. *Journal of Geophysical Research,* 98(C10), 18,201-18,211.

Piumbini, P. P. (2009). Clima de Ondas de Gravidade e Estado de Agitação Marítima em Ambientes Marinhos no Espírito Santo [dissertação de mestrado]. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo.

Parente, C. E. (1999). Uma nova técnica espectral para análise direcional de ondas [tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rabinovich, A. B. (2009). Seiches and Harbor Oscillations. In Y. C. Kim (Ed.). Em: *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, 193-236. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Soares, S. B., & Chacaltana, J. T. A. (2003). Refração e difração de ondas em regiões costeiras. *II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa*. Recife, BR.

Tucker, M., 1950. Surfbeats: sea waves of 1 to 5 minutes period. Em: *Proc. R.Soc. London,* A 202-565-573.

Willians, J. J., Alegria-Arzaburu, A. R., McCall, R. T., & Dongeren, A. V. (2012). Modelling gravel Barrier profile response to combined waves and tides using XBeach: Laboratory and field results. *Coastal Engineering*, 56, pp. 62-80.

Aplicação de um sistema baseado em sensores de baixo custo para a monitorização em tempo real de ondas de infragravidade em portos e marinas

Moura, T. (1); Chambel, P. (1); Chambel, J. (1); Silva, A. (1); Ribeiro, J. (1)

(1) Hidromod Lda. R. Rui Teles Palhinha 4, 2740-278 Porto Salvo. theo.moura@hidromod.com.

Resumo: Portos e marinas têm por objetivo oferecer proteção a embarcações contra o vento e ondas. Porém, muitos apresentam problemas de agitação associados a ressonância de ondas longas (ondas de infragravidade). Esse processo conhecido como "long wave surge" pode gerar movimentos excessivos de embarcações amarradas, criando condições desfavoráveis e de risco elevado para as operações. Apesar do entendimento sobre os processos associados a ondas de infragravidade em baías semi-fechadas, poucos portos integram sistemas de monitorização e previsão dessas ondas dado o elevado custo e logística dos instrumentos de medição. Neste trabalho são apresentados dois exemplos de utilização de sensores de baixo custo combinados com modelos numéricos na atividade de avaliação de soluções de projeto e na aplicação de um sistema de monitorização em tempo real. Os resultados mostram as vantagens da combinação destas duas ferramentas, tanto para auxiliar a tomada de decisão operacional, bem como para soluções de longo prazo.

Palavras-chave: modelação numérica, ondas de infragravidade, sensores de baixo-custo.

1. INTRODUÇÃO

Portos e marinas localizadas em regiões com grande energia de ondas podem apresentar, durante períodos de agitação marítima mais intensas, condições desfavoráveis que tendem a aumentar os riscos e reduzir a eficiência das operações. Os efeitos da agitação em águas abrigadas ocorrem devido a duas componentes, sendo a mais conhecida as ondas geradas pelo vento (vagas e ondulação) que possuem períodos entre 3 e 20 segundos. A segunda componente são ondas de infragravidade com períodos mais longos, entre 25 segundos e alguns minutos, e são geradas durante a propagação das ondas geradas pelo vento de águas profundas para águas rasas (Longuet-Higgins and Stewart, 1962).

Em mar aberto, as ondas de infragravidade apresentam amplitudes pequenas. Entretanto, por apresentarem períodos que tendem a coincidir com os períodos naturais de oscilação de portos e marinas essas ondas acabam por sofrer forte amplificação (através do efeito de ressonância) no interior desses corpos de água, gerando padrões estacionários de ondas conhecidos como seichas (Rabinovich, 2009).

Apesar de existir uma correlação entre níveis de agitação marítima e ressonância (seicha) no interior de portos, a última pode ocorrer também durante períodos de baixa agitação local como consequência de outras fontes de geração como a agitação gerada em locais distantes no oceano, ou eventos atípicos como tsunamis e meteotsunamis (ondas de longo período geradas por perturbação atmosféricas).

Enquanto é notória a evolução das previsões e formas de aquisição de informações sobre ondas em mar aberto, a monitorização, previsão e caracterização da agitação (ondas e correntes) no interior dos portos e marinas é pouco explorada, e raramente integrada no processo de tomada de decisão, apesar de se mostrar uma mais-valia quando utilizada. Alguns dos motivos para o baixo uso desses sistemas são o custo, e a complexidade de instalação e manutenção dos equipamentos.

Procurando superar essas limitações foram desenvolvidos sensores de fácil instalação, com um baixo custo e total autonomia (tanto energética como de transferência/processamento de dados) para a medição da agitação marítima em águas interiores. Nesse trabalho apresentamos os resultados da aplicação desses sensores em duas atividades distintas, sendo a primeira para na avaliação de soluções de projeto e a outra na integração de um sistema de monitorização em tempo real.

2. DESCRIÇÃO DOS SENSORES

Os equipamentos desenvolvidos têm como base um microcontrolador Arduíno e um módulo para armazenamento de dados. O sensor de pressão mede valores absolutos (pressão atmosférica mais coluna de água) até o limite de 20psi com precisão na ordem de 1.5 centímetros. O sensor de nível utiliza um módulo ultrasónico que mede em alta frequência (10 Hz) a distância da água até o sensor até uma amplitude máxima de 5 metros e precisão na ordem de 1 centímetro.

3. MARINA DA GLÓRIA – RIO DE JANEIRO

A Marina da Glória encontra-se em uma região da baía de Guanabara que está relativamente exposta a ressacas principalmente de direção sudeste. Durante esses eventos, a ondulação entra na baía propagando-se até a marina com significativa energia, gerando condições desfavoráveis para as embarcações atracadas.

Com o objetivo de avaliar alternativas para a redução da agitação marítima dentro da marina foi realizado um estudo para detalhar a hidrodinâmica local com base em análise de dados e modelação numérica.
Para tal estudo, foram realizadas medições simultâneas de nível em 3 pontos no interior da marina (sensores ultrasónicos) e um sensor de pressão, no exterior próximo da entrada da marina. Com o objetivo de identificar os padrões de propagação e amplitude de cada componente foram utilizadas técnicas de filtragem e análise espectral cruzada entre os sensores.

3.1. Resultados

Os resultados indicam claramente que a energia de ondas dentro da marina é dividida entre ondas estacionárias de longo período e ondas geradas pelo vento. Foi observado também que é a combinação dessas ondas que resultam nas condições desfavoráveis no interior da marina. A Fig. 1 mostra o registo de superfície livre medido durante uma condição relativamente calma dentro da marina onde observa-se uma ocorrência bem marcada das ondas de infragravidade (linha verde, painel superior); e durante uma condição de forte agitação no interior da marina onde foram registados amplitudes significativas tanto na banda de ondas de infragravidade como na banda de ondas geradas pelo vento.

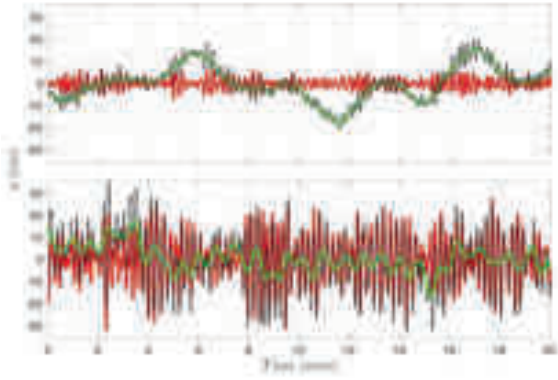


Fig. 1. Elevação da superfície livre medidas com o sensor de nível no interior da marina. Sinal bruto (preto), ondas geradas pelo vento (vermelho) e ondas de longo período (verde).

Através da análise espectral cruzada entre os diferentes sensores foi possível estabelecer as relações de fase e amplitude entre os diferentes períodos de oscilação no interior da marina. Tais padrões observados foram representados numericamente (Fig. 2), resultando na posterior utilização do modelo para avaliar o efeito de diferentes estruturas na resolução do problema.

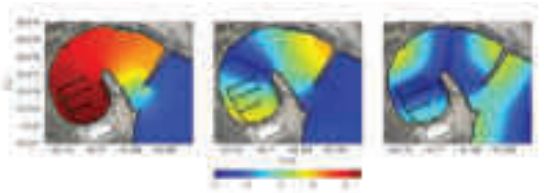


Fig. 2. Amplificação da oscilação da superfície livre dentro da marina para os três primeiros modos ressonantes indicados identificados na análise espectral. Paleta de cores representa o fator de amplificação com relação a amplitude de onda utilizada no contorno externo do modelo.

Para esse estudo foi adotada a estratégia de reduzir a propagação da ondulação para a região de amarração dos barcos. Foi identificado que a reflexão de onda na porção norte da marina resulta no redireccionamento das ondas para a região de amarração dos barcos (Fig. 3). A alteração proposta no enrocamento a entrada da marina mostrou-se suficiente para alterar os padrões de difração da ondulação no interior da marina, reduzindo significativamente a reflexão e posterior propagação para a região de atracação das embarcações.

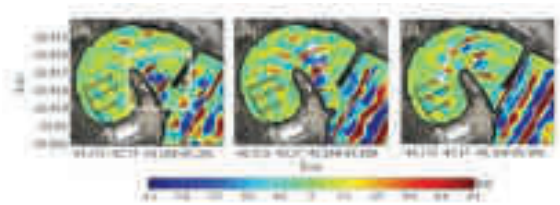


Fig. 3.Padrão de propagação da ondulação no interior da Marina da Glória.

4. PORTO DE LEIXÕES

Trazendo a experiência da utilização de sensores de baixo custo nas atividades de consultoria, foi realizada uma adaptação dos mesmos para trabalharem na forma operacional com transferência e processamento de dados em tempo real. Foi então desenvolvida uma ferramenta de monitorização e previsão da agitação no interior de portos utilizando medições e modelação numérica. Nesse trabalho são apresentados os resultados do teste operacional dos instrumentos e o funcionamento da plataforma de monitorização em tempo real, que teve como objetivos principais:

- Avaliar a logística operacional dos instrumentos;
- Avaliar a transmissão e processamento dos dados em tempo real;
- Avaliar a funcionalidade e estabilidade da plataforma de visualização dos dados.

Os sensores foram desenvolvidos para medir as oscilações da superfície do mar em alta frequência, registando desde ondas de embarcações até níveis de maré. Entretanto, para a correta representação e interpretação dessas diferentes ondas é indispensável o desenvolvimento de algoritmos para o processamento dos dados brutos e garantir a qualidade das medições, gerando informações relevantes para a classificação da agitação marítima

no interior do Porto. A ferramenta foi desenvolvida também com o intuito de ser integrada de forma simples (através de uma API) em sistemas já existentes e em operação em portos.

4.1. Resultados

Em paralelo ao teste operacional dos instrumentos foi também implementada uma plataforma on-line para a publicação dos resultados em tempo real com a visualização através de um DashBoard (Fig. 6).
A separação por bandas de períodos das ondas de infragravidade se faz necessária devido aos diferentes efeitos que essas ondas têm em diferentes regiões do porto, em especial na geração de correntes intermitentes com o potencial de movimentar de forma excessiva os navios atracados. A identificação da amplitude nesses diferentes períodos possibilita estimar de forma mais precisa os impactos da agitação nas diferentes regiões do Porto.
A Fig. 4 apresenta a comparação entre as medições feitas pelo sensor e o marégrafo de Leixões (mantido em modo operacional pelo Instituto Hidrográfico www.hidrografico.pt/). Observa-se que o sensor reproduz com exatidão as medições do marégrafo.

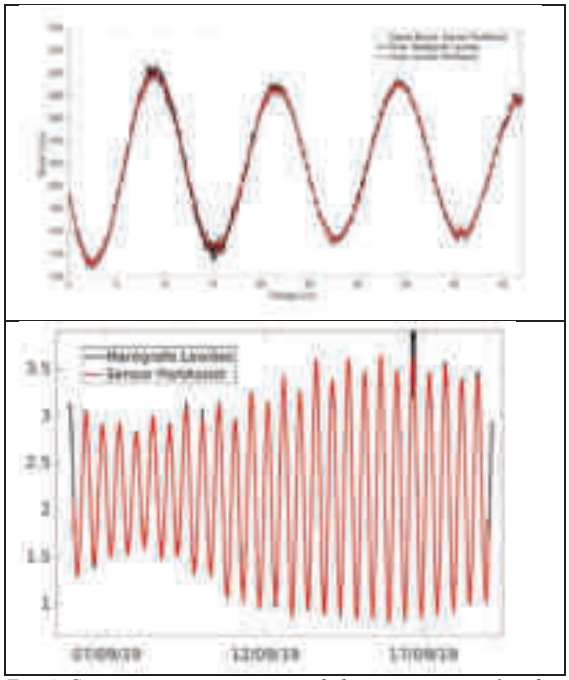


Fig. 4. Comparação entre os sensor de baixo-custo e marégrafo do Porto de Leixões (preto). Painel superior destaca as medições brutas em alta frequência (cinza) e série filtrada (vermelho) para o sensor.

As medições de alta frequência (linha cinza) mostram que durante esse período a propagação da ondulação para o interior do Porto foi mínima. Entretanto, durante um evento de agitação de ondas moderado (altura significativa de 2.5 metros e período de pico de 14 segundos medidos na boia de Leixões – informações disponibilizadas em www.hidrografico.pt/) observou-se uma maior energia das ondas geradas pelo vento no interior do porto. Foi registado no Sensor 1 alturas significativas próximas de 30 cm, com períodos de pico de 14 segundos.
As oscilações que aparecem na forma de um ruído no marégrafo de Leixões são na verdade as oscilações na banda de períodos das ondas de infragravidade, tais oscilações foram confirmadas através das medições feitas nos dois sensores instalados. Através da aplicação de análise espectral foram identificadas oscilações em diferentes períodos (Fig. 5), porém com baixa amplitude para a maioria dos períodos de ondas. Contudo, é importante ressaltar que ondas de infragravidade ganham amplitude rapidamente com o aumento da agitação do mar, sendo assim, é esperado que durante eventos de ondas mais energéticos as amplitudes das ondas de infragravidade no interior do porto sejam mais significativas. Foi observada uma exceção nas oscilações de longo período (entre 20 e 10 minutos) que alcançaram amplitudes na ordem de 20-30 centímetros mesmo durante períodos de pouca agitação marítima. Foi também verificado numericamente que essas componentes apresentam forte amplificação dentro do Porto podendo ser classificadas como os 3 modos ressonantes de mais baixa frequência (Fig. 7).

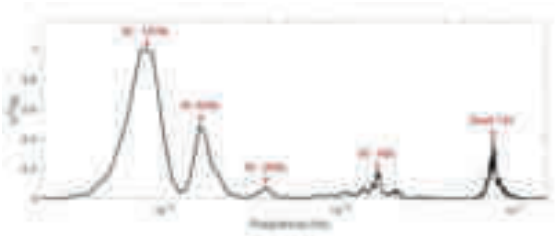


Fig. 5. Espectro de energia de ondas nas diferentes bandas de frequência com os respetivos períodos indicados em vermelho, Sensor 1.

Como mencionando anteriormente, apesar de existir uma correlação entre a agitação marítima e a amplitude das ondas longas no interior de portos e marinas a última pode ocorrer por outros fatores atípicos e de difícil previsão, sendo a monitorização em tempo real uma ferramenta útil para alertar a ocorrência e persistência desses eventos.
Como demonstrado na Fig. 7 os três períodos de onda mais longos identificados no espectro da Fig 5 apresentam padrões espaciais bem distintos.
Durante o período de teste pode-se confirmar a ocorrência de seichas para diferentes períodos naturais de oscilação do Porto, porém, a baixa agitação marítima registada durante o mês da medição limitou o registo de eventos de baixa agitação no interior do Porto. A correlação positiva de agitação marítima e intensificação das seichas e respetivas correntes no interior do Porto foi verificada nos resultados do modelo numérico.



Fig. 6. Plataforma onde são disponibilizadas as informações processadas em tempo real.(a) posição dos sensores, (b) maré (similar ao marégrafo), (c) e (d) período de pico e altura significativa de onda medidos no sensor 1, respetivamente. (e), (f) e (g) amplitude das ondas de infragravidade separadas por bandas de períodos de 25< T<125, 125< T<350 e 350< T<1300 segundos respetivamente.

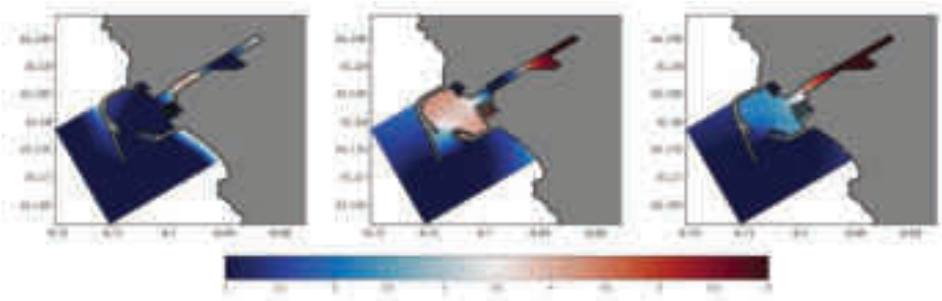


Fig. 7. Fator de amplificação (relação entre a amplitude medida em cada ponto e a amplitude na fronteira da modelo) de ondas no interior do Porto de Leixões para 3 diferentes períodos medidos nos sensores (5, 10 e 20 minutos).

5. CONCLUSÃO

Os dois exemplos apresentados mostram a importância da combinação de medições e modelação numérica na caracterização de processos complexos como a agitação no interior de portos e marinas. Considerando o seu baixo custo, simplicidade e funcionalidades, a ferramenta aqui proposta apresenta-se como uma alternativa viável para projetos/empresas de pequeno porte tanto em atividades operacionais (tempo real) como em estudos de viabilidade (consultoria).

REFERÊNCIAS

Longuet-Higgins, Michael; R.W. Stewart (1962), "Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf beats", Journal of Fluid Mechanics, **13**, Cambridge University Press, pp. 481–504

Rabinovich, A. B. (2009). Seiches and Harbor Oscillations. In Y. C. Kim (Ed.), In Handbook of Coastal and Ocean Engineering, 193-236. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar na Costa Portuguesa

Silva, C. S. (1); Lamas, L. (2); Moura, R. (1)

(1) Escola Naval, catarina.jesus.silva@marinha.pt

(2) Instituto Hidrográfico

Resumo: Este estudo foca-se na análise da variabilidade espácio-temporal da temperatura da superfície do mar (TSM) na costa Portuguesa. Para o efeito foram utilizados registos de TSM recolhidos *in situ* por 7 boias (Ondógrafo e Meteo-oceanográficas) fundeadas ao largo e ao longo da costa de Portugal Continental. Apresentam-se aqui os resultados preliminares da análise do ciclo sazonal e interanual da TSM que permitirão o estudo da sua variabilidade ao longo dos anos de recolha de dados das respetivas boias. Deu-se particular foco à caracterização climatológica da TSM nas regiões de Leixões, Sines e Faro, tendo em consideração a sazonalidade e a durabilidade dos eventos de afloramento costeiro (*upwelling*) na costa oeste de Portugal Continental.

Palavras-chave: boias, costa oeste, Portugal, temperatura da superfície do mar, *upwelling*.

1. INTRODUÇÃO

Foram selecionadas 7 boias (Tabela I) fundeadas ao largo e ao longo da costa de Portugal Continental (PT), geridas pelo Instituto Hidrográfico (IH) e incluídas no programa MONIZEE. As boias dividem-se em dois tipos distintos: boias ondógrafo (*Datawell Waverider*) e boias meteo-oceanográficas (*Oceanor Wavescan*). As boias ondógrafo encontram-se mais perto de costa (denominadas boias costeiras) e as outras ao largo (denominadas oceânicas), com exceção da boia Monican02 que tem função costeira. Considera-se este estudo relevante uma vez que os dados recolhidos *in situ* pelas boias ondógrafo permitem a análise de cerca de 20 anos de dados da TSM, o que possibilita a construção preliminar da climatologia das zonas de Leixões, Sines e Faro. As duas primeiras zonas estão localizadas na costa oeste de PT (COPT) e, a última, na costa sul de PT (CSPT). Por outro lado, as boias meteo-ocenográficas apenas disponibilizam cerca de 10 anos de dados da temperatura da superfície do mar (TSM), mas permitem obter informação ao largo, sendo possível analisar, por exemplo, o fenómeno de upwelling, aquando da sobreposição com as boias ondógrafo. Considera-se que este estudo poderá ser relevante para considerações de trabalhos futuros no âmbito do estudo das águas marinhas Portuguesas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados recolhidos pelas boias foram disponibilizados organizados em intervalos horários de 3 horas nas boias ondógrafo e em intervalos de 1 hora nas boias meteo-oceanográficas. Neste estudo, após constatação da variabilidade de tempo dos registos da base de dados e por forma a uniformizá-la, agruparam-se os dados em intervalos horários de 3, efetuando-se a média dos registos em cada intervalo de 3 horas, para, posteriormente, se proceder à aplicação de médias mensais ponderadas.

Após a elaboração das médias mensais foram analisadas as séries temporais de cada boia, e a sazonalidade associada às regiões costeiras de Leixões, Sines e Faro.

Nome da boia	Posição (WGS 84)	Profundidade medida (m)	Profundidade fundeadas (m)	Período temporal de recolha	Anos de estudo
Leixões	[illegible]	0,7	83	1998 2019	21
[illegible]	41°08.9'N 009°34.9'W	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	38°33.0'N 009°12.6'W	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	1	2000	2009 – 2017	8
Sines	[illegible]	0,7	97	1990 – 2019	28
[illegible]	37°04.3'N 007°58.9'W	0,7	[illegible]	1980 – 1992 e 2000 – 2019	25
[illegible]	36°28.90'N 008°04.10'W	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]

*Tabela I. Informação correspondente a cada boia. As boias com o símbolo * são boias do tipo meteo-oceanográficas e as restantes são boias ondógrafo. As cores distinguem as boias costeiras (azul) das boias oceânicas (laranja).*

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos valores médios mensais obtidos para cada boia, retiraram-se os valores máximos e mínimos da TSM das respetivas séries temporais disponíveis (Fig. 1).

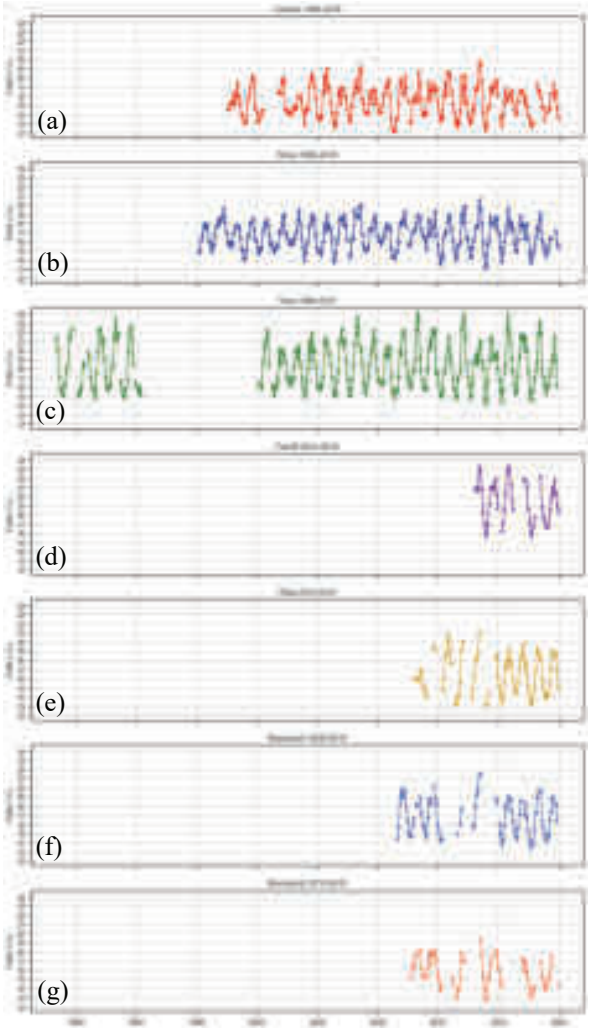


Fig. 1. Séries temporais das médias mensais da temperatura da superfície do mar referentes a cada boia. Por ordem na figura: boias ondógrafo: (a) Leixões (1998-2019), (b) Sines (1996-2019), (c) Faro (1986-2019); e boias meteo-oceanográficas: (d) FarOff (2014-2019), (e) Raia (2010-2019), (f) Monican01 (2009-2019) e (g) Monican02 (2010-2019).

Os valores de TSM mínimos nas boias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro são, respetivamente, 12,1°C, 13,2°C, 14,4°C e os valores máximos, 19,7°C, 20,6°C, 24,1°C. Com isto registam-se os diferenciais de temperatura, entre máximos e mínimos, de 7,6°C para Leixões, 7,4°C para Sines e de 9,7°C para Faro. Constatou-se que o valor mínimo de Faro e Sines decorreu em fevereiro de 2015, e em Leixões em fevereiro de 2009. Quanto aos valores máximos, ocorreram em agosto de 2010 na região de Faro, e em setembro de 2014 em Leixões e Sines. A boia Monican02 registou o valor mínimo de 12,8°C e o valor máximo de 19,4°C, registando um diferencial de temperatura de 6,6°C. Estes valores foram registados em fevereiro de 2015 e em outubro de 2014, respetivamente.

No que concerne às boias oceânicas, a boia Raia revelou um máximo da TSM de 21,0 °C registado em 2014 no mês de setembro, e um valor mínimo de 13,0 °C em fevereiro de 2015. A boia oceânica da região de Faro, a boia FarOff, revelou o máximo da TSM em 2016, no mês de agosto, perto dos 23,0 °C e o mínimo em fevereiro de 2015, perto dos 16,0 °C. Por fim, a boia Monican01, apresentou um máximo da temperatura da água correspondente a 21,5°C, em outubro de 2014, e um mínimo de 13,5°C registado em fevereiro de 2018. Assim, para estas regiões o diferencial de temperatura da água registado, entre máximos e mínimos, é de 8,0°C na boia Raia e na boia Monican 01, e de 7,0°C na boia FarOff.

Quanto aos mínimos registados, Silva e Silva (2012) propõem a ocorrência desses valores, em Sines e Faro, como sendo concordantes com as características do ramo subtropical da Água Central Oriental do Atlântico Norte, que tende a ocupar toda a coluna superficial durante o inverno nessas zonas.

Os valores máximos de TSM são reflexo dos efeitos da radiação solar e do campo do vento. Os valores observados em Leixões e Sines aparentam uma relação semelhante com os fatores acima mencionados, contudo na região de Faro o máximo poderá justificar-se pela influência da contra-corrente costeira (CCC), uma vez que a relaxação do campo do vento poderá desencadear o seu reforço (Silva e Silva, 2012). Esta corrente, que introduz água quente na CSPT, junto à costa do Algarve, está associada ao relaxamento ou intensificação dos ventos favoráveis ao fenómeno de upwelling, e a sua formação proporciona-se quando ventos de leste sopram no estreito de Gibraltar e no Golfo de Cádis (Sutcliffe *et al.*, 2016), podendo assim provocar o aumento da TSM na região de Faro. Por outro lado, para a região de Sines, sugere-se que a justificação para a menor variação encontrada nesta localização poderá dever-se ao facto desta boia se encontrar numa posição protegida dos ventos intensos de norte devido à presença do cabo Espichel. Contudo, a CCC, pode ocasionalmente contornar o cabo de São Vicente interagindo com a corrente costeira, com direção a sul e a transportar águas frias afloradas (Relvas *et al.*, 2007), podendo justificar a existência de temperaturas da água, no verão, mais elevadas em Sines do que em Leixões.

Os resultados do presente estudo, apresentados nas Figuras 2, demonstram um padrão sazonal que manifesta uma estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente em abril-maio, e para a estação fria em outubro-novembro, e por fim, uma estação quente de junho a outubro, corroborando o que Silva e Silva (2012) também constataram.

Também demonstram, relativamente a Leixões (Figura 2a) e Sines (Figura 2b), a existência de ligeiras diminuições do valor da temperatura da água na estação quente (para além do mínimo registado em fevereiro), enquanto em Faro (Figura 2c) os valores máximos da TSM ocorrem maioritariamente no mês de agosto, indo, novamente, ao encontro do que Silva e Silva (2012) constataram.

Estas diferenças espaciais, refletem a ocorrência do fenómeno de *upwelling* na COPT, induzido pelo vento de norte, e por outro lado, a indução de água quente na CSPT, pela CCC referida anteriormente, que se desenvolve durante a época de upwelling (Relvas *et al.*, 2007). Devido à ocorrência de upwelling, o máximo da temperatura da água na COPT, foi observado entre os meses de setembro e outubro, e não na estação quente, como observado em Faro. Sendo que o máximo é atingido, primeiramente, em setembro em Leixões e só depois em outubro em Sines, de acordo com o que foi observado por Silva e Silva (2012) que sugerem como justificação o relaxamento do campo do vento, de norte para sul, como consequência do deslocamento sazonal do AA.

Este estudo, publicado em Santos da Silva (2020), revelou ainda, que na região de Leixões sugere-se uma tendência da TSM com valores praticamente nulos, justificada, pela compensação visível entre as amplitudes mínimas e máximas da TSM. Na região de Sines a tendência revela uma ligeira tendência para a diminuição anual da TSM com uma taxa de -0,012°C/ano, que poderá estar relacionada com o aprofundamento dos mínimos entre 2011 e 2018. Por último, na região de Faro a tendência descreve um ligeiro aumento de 0,016°C/ano, contribuindo para isso os valores máximos registados, que cresceram entre os anos de 2001 e 2006, facto já observado por Silva e Silva (2012), mas principalmente devido aos picos máximos da TSM registados em 2010, 2013, 2016 e 2018. Por outro lado, nesta região observou-se diminuição progressiva dos valores mínimos a partir de 2011 até ao ano de 2017.

Apesar de ligeiras diferenças encontradas com Silva e Silva (2012), para o mesmo período temporal (1996-2011), não se constataram necessariamente resultados discrepantes. Algumas das diferenças podem ser justificadas pela densidade dos dados, consequentemente refletida nos períodos temporais analisados. Inclusive, a maioria das evidências de eventos extremos da TSM na costa Portuguesa surgem quando se faz a observação isolada da última década.

A análise da última década (Figura 3) demonstra que a tendência do comportamento da TSM descreve um decréscimo significativo, na ordem dos -0,1°C/ano, independentemente da região analisada. Esta observação não corresponde ao que Silva & Silva (2012) descrevera relativamente à tendência para um aumento médio anual na região de Faro de 0,1°C, para o período de 2000 a 2011.

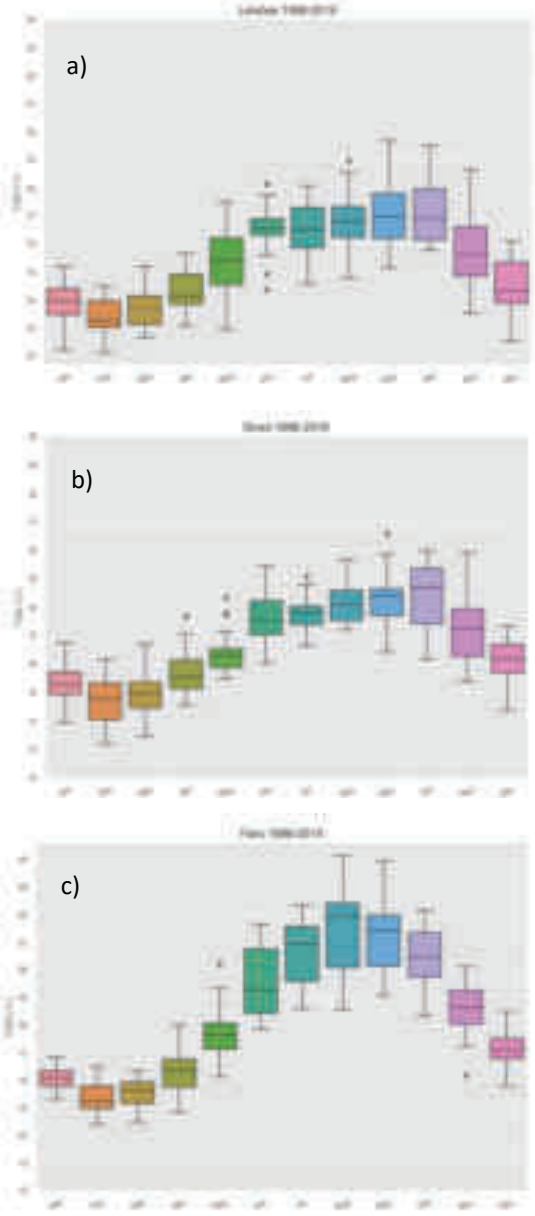


Fig. 2. Diagrama de Extremos e quartis das médias mensais da TSM das bóias ondógrafo de: (a) Leixões (1998-2019), (b) Sines (1996-2019), (c) Faro (1986-2019)

4. CONCLUSÕES

Através da análise dos dados *in situ* das sete boias, distribuídas ao largo e ao longo da costa de PT, conclui-se que a TSM na costa oeste da Península Ibérica apresenta variação sazonal e espacial Assim, verifica-se uma estação de temperaturas frias no primeiro trimestre, com o mês de fevereiro a apresentar os valores mínimos, um período de transição para a estação quente a ocorrer entre março e junho, e para a estação fria entre outubro e dezembro, e um período estival entre os meses de junho a outubro, caracterizado por temperaturas da água ligeiramente elevadas. Constatou-se, ainda, que na estação quente decorriam diminuições da TSM, nas boias localizadas na COPT, indicativas da

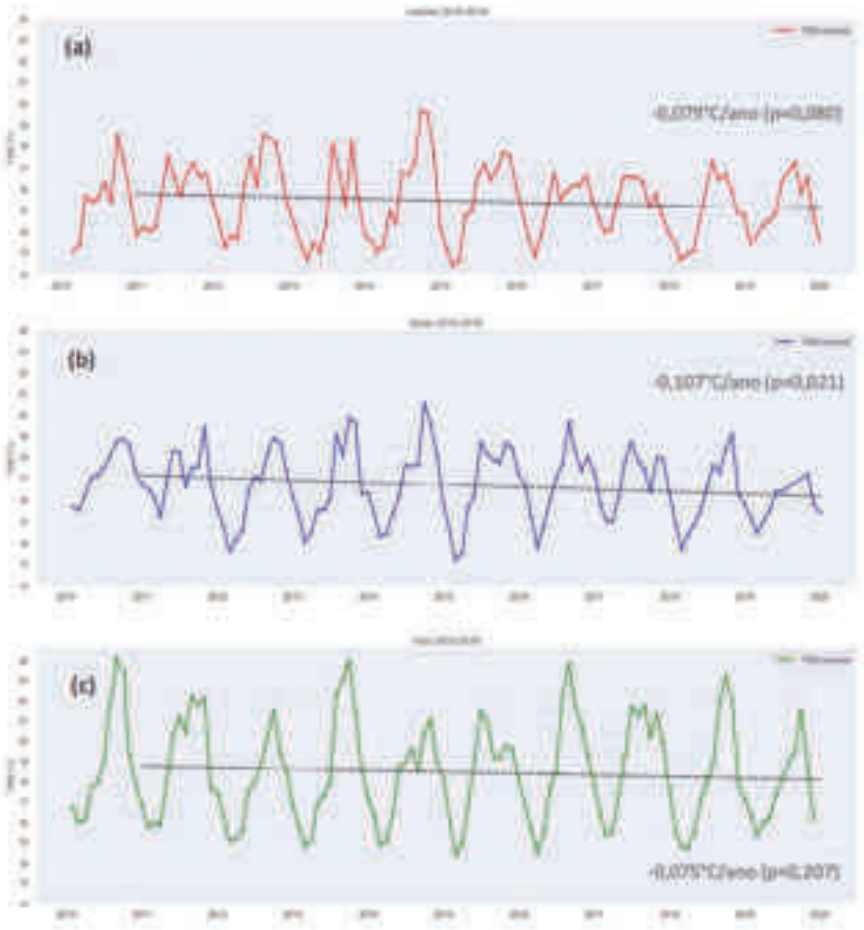


Fig. 3. Variação interanual da TSM obtida através das médias mensais das boias ondógrafo de: a) Leixões; b) Sines; c) Faro, para o período compreendido entre 2010 e 2019.

ocorrência do fenómeno de upwelling, considerado entre os meses de julho a setembro. A variação espacial prende-se no facto de, como expectável, a TSM na costa de PT ser mais fria a norte da COPT, e mais quente na CSPT, e ainda pelo facto das temperaturas da água registadas ao largo serem ligeiramente superiores àquelas registadas nas regiões costeiras.

Por fim, este trabalho permitiu constatar que a manutenção da rede de boias Portuguesa é da extrema importância, pois a TSM representa um dos mais relevantes materiais de estudo para a monitorização das águas marinhas Portuguesas e daí, haver a necessidade de existirem dados fidedignos, contínuos e extensos, por serem essenciais ao estudo do oceano.

Agradecimentos

Presta-se reconhecimento ao IH pela cedência dos dados *in situ* das boias, e pela disponibilidade em esclarecer questões técnicas associadas ao funcionamento das boias.

Este trabalho foi realizado no âmbito da dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha.

REFERÊNCIAS

Relvas, P., E. Barton, J. Dubert, P. Oliveira, Á. Peliz, J. da Silva, e A.M.P. Santos (2007). "Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: Latest views and challenges." *Progress in Oceanography* 74 (2007): 149-173.

Santos da Silva, C. (2020). "Análise da variabilidade Espácio-Temporal da Temperatura da Superfície do Mar nas Águas Marinhas Portuguesas". *Dissertação de Mestrado, Escola Naval.*

Silva, AJ, e F.S. Silva (2012). "Caracterização do regime térmico das águas marinhas portuguesas com base nos registos das boias ondógrafo." *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica.* Lisboa

Sutcliffe, A., A.C. Brito, C. Sá, F. Sousa, D. Boutov, e V. Brotas (2016). Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas. *Editado por DGRM*. Lisboa.

Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira

Sancho, F. (1); Oliveira, F. S. B. F. (1); Fortes, C. J. E. M. (1); Baptista, P. (2); Roebeling, P. (2)

(1) Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Av. Do Brasil, 101, Lisboa. fsancho@lnec.pt

(2) Departamento de Geociências e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Univ. de Aveiro, Campus Univ. de Santiago, 3810-193 Aveiro.

Resumo: Apresenta-se neste trabalho um resumo do projeto "Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira", efetuado pelo LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente. O estudo inclui as componentes de modelação matemática, modelação física em modelo reduzido, monitorização e aquisição de dados in situ, e análise custo-benefício da melhor solução técnica. Apresentam-se alguns dos resultados obtidos até ao presente, salientando os desafios e condicionantes locais hidro-sedimentares, e perspetivando algumas soluções.

Palavras-chave: galgamento, quebramar submerso, proteção costeira, saliente.

1. INTRODUÇÃO

Iniciou-se em dezembro de 2018 o "Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira", efetuado pelo LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA). O estudo tem como objetivo principal a definição e caracterização de parâmetros de dimensionamento e localização de um quebra-mar destacado (QMD) naquele litoral. Pretende-se que este QMD cumpra os seguintes objetivos, por ordem de prioridades: redução do risco de galgamentos costeiros; promoção do acréscimo do areal em frente à defesa aderente; e promoção de ondas de surf de referência, potenciando a economia associada a esta atividade. O estudo inclui as componentes de modelação matemática, modelação física em modelo reduzido, monitorização e aquisição de dados *in situ*, e análise custo-benefício da melhor solução técnica.

São vários os desafios associados à construção de um QMD na Praia da Vagueira, nomeadamente: i) a avaliação da dimensão, localização e configuração do quebra-mar; ii) a estimativa dos impactos que provoca na hidrodinâmica, na dinâmica sedimentar e na morfologia do trecho costeiro onde se insere; iii) a compatibilização de todas as funções/objetivos e iv) a definição dos materiais e da solução estrutural mais económica e com menor necessidade de operações de manutenção ao longo do tempo.

Na revisão bibliográfica efetuada (Sancho *et al*., 2019a), reconhece-se que o dimensionamento de um QMD ou recife artificial (RA) para a melhoria das condições de surf é recente (duas últimas décadas), tendo a maioria dos projetos acabado por não atingir esse objetivo! Comparativamente com outras obras costeiras clássicas (e.g., esporões e molhes), a descrição e análise do desempenho, comportamento e sucesso dos RA está ainda nos seus primeiros passos. Assim, e face às características e condicionantes locais, antecipa-se que a maior dificuldade para o projeto do QMD na Praia da Vagueira será a satisfação da função de criação de ondas para o surf.

Sobre o material de construção, face a frequentes falhas estruturais em muitos dos QMD/RA construídos em geossintéticos, ao forte clima de agitação marítima e à disponibilidade de enrocamentos, dar-se-á preferência a uma estrutura em enrocamento.

Sublinha-se que o QMD proposto visa proporcionar efeitos essencialmente locais, não substituindo intervenções que visem a correção de desequilíbrios sedimentares gerais. Havendo atualmente uma deriva litoral média significativa (da ordem de 200000 a 500000 m^3/ano; Vicente e Clímaco, 2016) nas praias a sul da Vagueira, pretende-se que o QMD resulte na formação de um saliente, com o intuito de assegurar continuidade às correntes longilitorais de transporte de sedimentos, minimizando o fenómeno erosivo a sotamar desta estrutura.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

2.1. Geomorfologia, dinâmica e evolução costeira

A Praia da Vagueira situa-se no extremo sul do trecho costeiro Barra-Vagueira, a sul do porto de Aveiro, com cerca de 10 km de extensão. Pertence ao litoral arenoso entre Espinho e Cabo Mondego, onde se registam graves problemas de erosão costeira. A proximidade à laguna de Aveiro e a zonas urbanas, as baixas cotas topográficas, as praias arenosas e o frágil cordão dunar, suscetível a galgamentos e inundações durante climas de agitação energéticos, fazem desta faixa costeira uma área vulnerável e exposta à erosão. Como resultado, há um risco iminente de rutura do cordão dunar e da barreira arenosa que separa a laguna de Aveiro do Oceano Atlântico.

Os problemas de erosão são essencialmente relacionados com o défice sedimentar que resulta do enfraquecimento das fontes aluvionares e da barreira

ao transporte sedimentar provocado por estruturas costeiras transversais de grande extensão. Em resultado, ocorreram (no último meio século) importantes recuos da posição da linha de costa nas praias a sul da Barra de Aveiro. Este recuo foi atenuado por obras de defesa na Costa Nova, e uma obra longitudinal aderente (com 620 m) e um esporão de pequena extensão (cerca de 130 m) na praia da Vagueira (Figura 1). Cerca de 1100 m a sul deste esporão está implantado o esporão da Praia do Labrego, também de pequeno comprimento (170 m).

A morfologia dos fundos adjacentes à praia da Vagueira é caracterizada por uma acentuada variabilidade espacial, onde se destaca a presença de um sistema complexo de barras submersas, com maior desenvolvimento entre as cotas -1 e -4 m (ZH). A comparação entre levantamentos locais mostra a migração de barras submersas nos sentidos transversal e longitudinal à linha de costa e elevada variabilidade da batimetria, em particular nas cotas -6 a -8 m (ZH) (Freire *et al.*, 2020).

A evolução dos fundos ao longo de perfil transversal (perfil total PT_PC6 do Programa COSMO) em frente à Praia da Vagueira (Figura 1), entre julho 2013 e fevereiro 2020, mostra uma variabilidade morfológica acentuada nos setores da praia emersa e submersa até cerca de 700 m da linha de costa (Figura 2). Na praia submersa a evolução é dominada pela dinâmica do sistema de barras, que inclui uma ou duas barras em simultâneo com alturas da ordem de 2 a 3 m, sendo a variabilidade do perfil transversal pouco acentuada em profundidades superiores a -8 m (ZH). Ambas as barras estão mais elevadas no final do inverno marítimo e a maiores profundidades no final de verão marítimo. A profundidade de fecho neste troço é próxima de -12 m (ZH).

Note-se que cota de implantação expectável do QMD é entre -3 e -7 m (ZH) (Sancho *et al.*, 2019b), ou seja, em zona parcialmente coincidente com aquela que mostra maior dinamismo do sistema de barras. Portanto, existe o muito provável conflito entre a implantação de um QMD (que se quer fixo) e a mobilidade natural das barras submersas.

A dimensão dos sedimentos na Praia da Vagueira corresponde a sedimentos médios a grosseiros na praia emersa (D_{50} médio igual a 0,5 mm) e sedimentos maioritariamente finos (D_{50} entre 0,125 e 0,25 mm) na parte submersa do perfil, onde possuem um teor da fração textural silto-argilosa da ordem de 5 a 25%, sendo assim classificadas como areias ligeiramente vasosas (Freire *et al.*, 2020).

2.2. Regime de maré e agitação marítima

No litoral de Aveiro, as marés são semidiurnas e regulares, com valores médios de amplitude em marés vivas e marés mortas de 2,8 e 1,2 m, respetivamente (Baptista et al., 2019). Os níveis do mar locais variam entre 1,5 e 4,0 m (ZH) (Freire et *al.*, 2020). O nível de maré astronómica varia entre 0,2 e 3,8 m (ZH) e a sobrelevação devida à pressão atmosférica afeta o nível de maré entre -0,3 e +0,4 m.

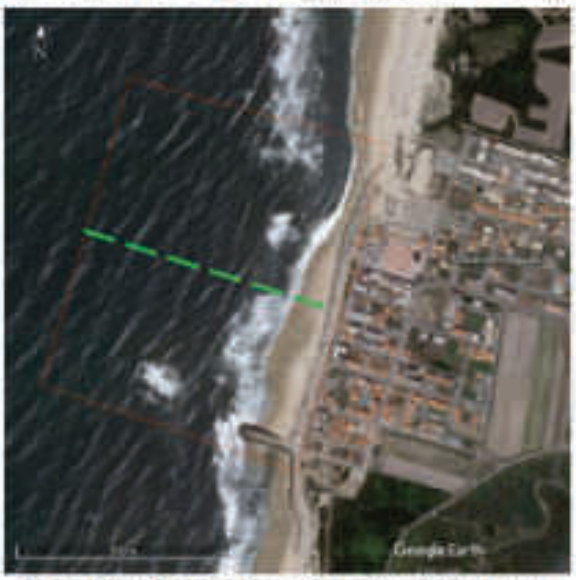


Fig. 1. Fotografia aérea da zona de estudo (©Google Earth) e localização do perfil PT_PC6 (a verde).

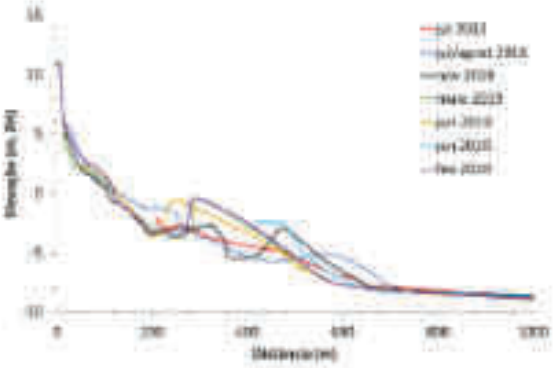


Fig. 2. Evolução do perfil transversal da praia da Vagueira.

A agitação marítima local, à profundidade -20 m (ZH) em frente à Praia da Vagueira, foi determinada a partir da propagação de uma série de 39 anos (1979 a 2018) de dados ao largo provenientes do modelo de previsão WAM do Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo (Freire et *al.*, 2020). Observou-se que a média da altura significativa de onda é 1,8 m, a gama mais frequente varia entre 1,0 e 2,0 m, mais de 95% dos valores são inferiores a 5,0 m, e o valor máximo é 9,0 m. Os períodos de pico apresentaram valores entre 3,5 e 20,3 s, com média de 10,9 s. A gama mais frequente das direções principais da agitação marítima está entre 270° a 330° (setor W-NWN), sendo o valor médio 300°.

3. MONITORIZAÇÃO E RECOLHA DE DADOS *IN SITU*

No âmbito deste projeto, instalou-se um sistema de vídeo-monitorização num edifício localizado ligeiramente a norte do alinhamento do esporão da Vagueira, com câmara estática e apontada na direção noroeste. Um exemplo da imagem coberta é

apresentado na Figura 3. A configuração do sistema de recolha de dados automático permitiu identificar diferentes tipos de imagens, nomeadamente imagens instantâneas, *Timex*, de variância da luminosidade e *Timestack* (Baptista *et al*., 2019). O pós-processamento das mesmas tem-se focado na deteção da linha de costa e linha(s) de rebentação, potencial identificadora da posição da barra(s) de rebentação. A título de exemplo, na Figura 4 apresentam-se as linhas identificadas na imagem *Timex* obtida às 12h30 de 2019/06/07.

Além da monitorização contínua com o sistema de vídeo, efetuaram-se diversos levantamentos topográficos, um levantamento batimétrico e uma campanha intensiva de recolha de dados hidrodinâmicos e sedimentológicos (em 14-15 de outubro de 2019). A realização de campanhas de campo num litoral com estas características de agitação marítima é sempre um desafio, tendo-se conseguido atingir os objetivos propostos. Montaram-se e retiraram-se os equipamentos (2 ADCP, 6 sensores de pressão, 2 correntómetros eletromagnéticos e 3 sensores óticos de concentração de sedimentos em suspensão), tendo-se obtido um conjunto de dados hidro-morfodinâmicos e sedimentológicos (vide Silva *et al*., 2020) para aferição dos modelos matemáticos a aplicar. Saliente-se também o uso de flutuadores lagrangeanos para medição de correntes de superfície.



Fig. 3. Imagem instantânea da área de estudo

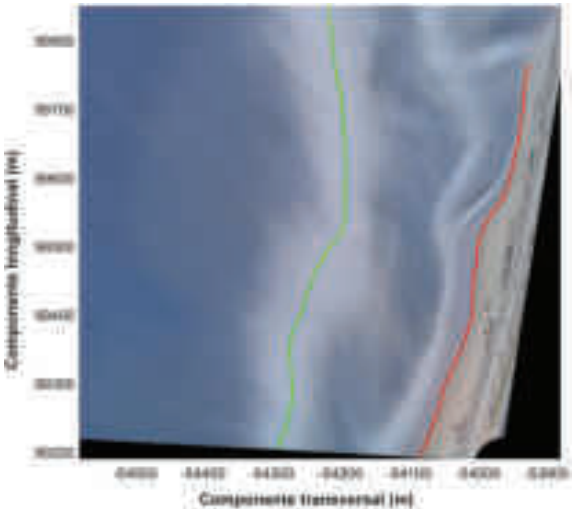


Fig. 4. Localização da linha de costa (vermelho) e da linha de rebentação (verde) (12h30, 7 de Junho de 2019)

4. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO

Na Tabela I listam-se as variáveis mais relevantes identificadas para o dimensionamento do QMD da Praia da Vagueira, sob vários aspetos funcionais, relativos a parâmetros da obra, hidrodinâmicos e morfológicos. Os trabalhos preliminares deste estudo permitiram definir os valores mais adequados para cada variável (3.ª coluna), na fase prévia de verificação do desempenho. Destacam-se o comprimento do quebramar, a distância à linha de costa e o bordo livre. Qualquer destes parâmetros afeta substancialmente a transmissão da agitação marítima para sotamar da estrutura, com papel determinante na redução do galgamento costeiro e na promoção do acréscimo do areal, que pode resultar no surgimento de um pequeno saliente até à formação de um tômbolo.

5. RESULTADOS DE MODELAÇÃO MATEMÁTICA

5.1. Efeito do QMD na redução dos galgamentos

A análise, em modelo matemático, do efeito das configurações de QMD na redução do galgamento da defesa aderente e diminuição do risco para a população foi realizada tendo em consideração as condições de agitação marítima e correspondente nível de mar entre 1979 a 2018 e a elevação do fundo arenoso em julho/2018 e junho/2019, através da utilização de oito perfis transversais localizados em frente à defesa aderente (Oliveira *et al*., 2020). Concluiu-se que em termos de risco, as diferenças não são muito significativas entre as diversas configurações do QMD, dentro da gama das variáveis L_{qm} e L_d identificadas na Tabela I.

5.2. Efeito do QMD na promoção do acréscimo de praia

Simulou-se a evolução da linha de costa com a atual configuração de obras e para dez combinações distintas de L_{qm} e L_d (Oliveira *et al*., 2020). Para cada uma destas configurações testou-se a evolução da linha de costa considerando dois modelos de linha de costa (LITMOD e LTC) e quatro métodos de cálculo do coeficiente de transmissão. Para comparação dos resultados recorreu-se a oito indicadores de eficiência do desempenho do QMD, extraídos das linhas de costa simuladas ao fim de 20 anos.

A avaliação quantitativa do desempenho das dez configurações preliminares do QMD e sem a obra, com base nos dois conjuntos de indicadores de eficiência usados na análise dos resultados de cada modelo permitiu concluir que as configurações de QMD com comprimentos entre 300 e 350 m e distâncias à linha de costa entre 400 e 500 m são as mais promissoras para o desenvolvimento de salientes e com menores impactes negativos no litoral a sul (pela retenção de sedimentos no saliente).

Tabela I. Intervalo de valores para os parâmetros característicos de dimensionamento do QMD da Praia da Vagueira

Designação	Parâmetro	Valor(es) a ensaiar
L_{qm}	Comprimento do quebra-mar	200, 250, 300, 350 m
L_d	Distância à linha de costa	200, 300, 400, 500, 580 m (à cota +2,17 m ZH)
L_{qm}/L_d		0,6 a 1,0
R_c	Distância do nível de coroamento à superfície libre, ou bordo livre	-0,5 m, para o nível de baixa-mar de águas vivas média (+0,84 m ZH)
h_c	Cota de coroamento	+0,34 m ZH
K_t	Coeficiente de transmissão	0,4 a 0,7
B	Largura do coroamento	10 m
h_p	Cota de implantação	-3 a -7 m ZH
ϕ	Orientação do eixo longitudinal relativamente à linha de costa	-10°, 0°, +10°
β_b, β_s	Inclinação dos taludes (de barlamar e sotamar	Barlamar: 1:10, 1:15 Sotamar: 1:2, 1:3
	Forma	Linear oblíqua ou delta assimétrico
	Material	Enrocamento
H_s	Altura de onda significativa	Surf: 1,5 a 3,0 m
T_p	Período de pico da onda	Surf: 8 a 12 s
	Peel angle	30<α<60° *
ξ_b	Tipo de rebentação	Surf: 0,4<ξ_b<2,0 *
	Comprimento linha de rebentação	≥55 m *
	Níveis de maré	BMAV (+0,84 m ZH); NMM (+2,17 m ZH); PMAV (+3,55 m ZH)
$W_{b,min}$	Largura de praia mínima	35 m, numa extensão igual à distância do extremo norte do QMD ao esporão da Vagueira, à cota de PMAV, em qualquer período do ano
	Erosão máxima no troço Vagueira – Areão	-4,44 m/ano

* durante, pelo menos, 20% das condições de agitação

5.3. Efeito do QMD dinâmica sedimentar

A análise do efeito do QMD na dinâmica sedimentar e morfologia adjacente, a curto e médio prazo, foi efetuada de forma qualitativa e comparativa para condições médias de onda e NMM, e para a configuração de QMD com L_{qm}=300 m e L_d=400 m (Oliveira *et al*., 2020). Os resultados das simulações indicam que esta configuração promove a formação de um saliente e a geração de elevados gradientes de fundo, incluindo novos canais devidos às correntes divergentes que constrangem o crescimento do mesmo saliente.

6. TRABALHOS FUTUROS

Presentemente, está em curso a modelação matemática da hidrodinâmica das condições para o surf, a construção de um modelo físico para análise da dinâmica sedimentar em torno do QMD e das ondas para o surf, e a análise custo-benefício associada à construção do QMD e seu impacte no crescimento turístico.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os elementos da equipa do projeto. Agradecem ainda o empenhamento dos técnicos da APA e a disponibilização de meios e apoio pela C.M. de Vagos.

REFERÊNCIAS

Baptista, P.R., Barbosa, J.P., Silva, P.A., Andriolo, U., Santos, F., Carvalheiro, L., Sancho, F. (2019). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T3) Monitorização contínua através de sistema de vídeo-monitorização: Instalação da estação de vídeo-monitorização – Relatório 3. Relatório 240/2019 – DHA/LNEC.

Freire, P., Baptista, P.R., Capitão, R., Sancho, F., Fortes, C.J, Neves, M.G., Pinheiro, L. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Caracterização da hidrodinâmica e da variabilidade morfo sedimentar. Relatório 7. Relatório conjunto 161/2020 DHA/NEC.

Oliveira, F.S.B.F., Sancho, F., Neves, M.G., Coelho, C., Pinheiro, L., Fortes, C.J., Teixeira, S., Pombo, R., Reis, M.T. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T1) Estudos em modelo matemático: Alternativas de quebra-mar destacado para proteção contra galgamentos e erosão costeira – Relatório 8. Relatório conjunto 231/2020 – DHA/LNEC.

Sancho, F., Oliveira, F.S.B.F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Coelho, C., Roebeling, P., Bicudo, P. (2019a). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T0) Revisão do estado de arte – Relatório 2. Relatório 248/2019 – DHA/LNEC.

Sancho, F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Capitão, R. (2019b). Estudo de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Estudos em modelo matemático: Memória descritiva – Relatório 4. LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório 408/2019 DHA/NEC.

Silva, P.A., Baptista, P.R., Santos, F., Sancho, F., Freire, P. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T3) Monitorização, aquisição de dados e trabalho de campo: Resultados da campanha – Relatório 6. Relatório 124/2020 – DHA/NEC.

Vicente, C., Clímaco, M. (2016). Previsão do comportamento de um quebra-mar destacado, na costa da Vagueira. LNEC, Lisboa. (Não publicado).

O efeito do coeficiente de transmissão na modelação a longo-termo da evolução da linha de costa

Canelas, S. T. (1); Sancho, F. (2); Pinheiro, L. (2); Trigo-Teixeira, A. (1)

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 LISBOA, Portugal. soraia.teixeira@tecnico.ulisboa.pt

(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil 101, 1700-066 LISBOA, Portugal.

Resumo: Os quebra-mares destacados submersos (QMS) são utilizados para induzir a rebentação das ondas, reduzindo a energia que chega à costa. Para compreender a influência de um QMS na Vagueira na evolução da linha de costa (LC) afetada pela estrutura, foi utilizado modelo de evolução da LC Litmod utilizando um coeficiente de transmissão (k_t) constante. Os valores de k_t foram calculados através de fórmulas empíricas e com base em resultados do modelo numérico de propagação de ondas DREAMS. LC obtidos para algumas geometrias de QMS possíveis (com diferente distância à costa e comprimento), sugerem que a formulação de k_t mais adequada às características oceanográficas da Vagueira é a de Seabrook e Hall (1998). A evolução da LC para cada geometria de QMS depende fortemente do valor de k_t. Para menores k_t desenvolvem-se maiores salientes, com aumento da erosão a sul. Os vários métodos de obtenção de k_t resultam em variações da LC, em certos casos, maiores do que as alterações ao design do QMS.

Palavras-chave: coeficiente de transmissão, modelação da evolução da linha de costa, quebra-mar submerso, praia da Vagueira.

1. INTRODUÇÃO

Os quebra-mares destacados submersos (QMS) são estruturas que têm sido estudadas nos últimos anos para defesa costeira contra erosão e galgamentos na costa portuguesa. Os QMS induzem a rebentação das ondas, que por sua vez reduz a energia que chega à costa. A presença de um QMS altera também o transporte sedimentar, reduzindo-o na zona de sombra do quebra-mar, contribuindo assim para a acumulação de sedimentos.

O grau de influência a longo prazo de um QMS na linha de costa (LC) pode ser simulado por modelos de evolução da LC de complexidade reduzida como são os modelos de uma-linha. Estes modelos, como por exemplo o Litmod (Vicente, 1991) têm duas hipóteses principais: 1) o perfil de praia mantém a sua geometria, sendo que o movimento da LC se traduz através da deslocação do perfil; 2) a deriva litoral deve ser a ação dominante que modela a costa em estudo. Para a simulação da evolução da LC na presença de um QMS o Litmod inclui um módulo de propagação da agitação marítima que usa a lei de Snell, admitindo uma batimetria paralela à costa. Nos trechos onde existe um QMS a agitação é influenciada por um coeficiente de difração (k_d), determinado intrinsecamente, e um de transmissão (k_t), dado pelo utilizador. Ambos os coeficientes dependem das condições de agitação marítima (altura, período e rumo da onda incidente) e das características do QMS (largura e comprimento da crista, declive do talude, cota de coroamento, entre outros parâmetros).

Apesar dos modelos de uma linha já terem sido amplamente utilizados para simulação a longo prazo de evolução da linha de costa na presença de QMS (e.g., Fernandes, 2017), há oportunidade para melhorar o modelo, de forma a que os resultados sejam mais próximos da realidade. Uma das melhorias que podem ser procuradas em modelos de uma linha é o cálculo do coeficiente de transmissão k_t.

Existem várias fórmulas empíricas para cálculo do k_t, bem como modelos numéricos.

Neste artigo analisam-se três fórmulas empíricas para o cálculo do k_t, nomeadamente, as de Seabrook e Hall (1998), D' Angremond *et al*. (1996) e Van der Meer *et al*. (2004), e comparam-se os resultados das simulações da evolução da LC com os resultados obtidos com o k_t calculado através do modelo de refração-difração DREAMS (Fortes, 1993), que tem em consideração o efeito da geometria tri-dimensional do QMS nas ondas difratadas e transmitidas sobre a estrutura.

2. DADOS E MÉTODOS

2.1. Praia da Vagueira

A Praia da Vagueira situa-se no centro-norte da costa oeste portuguesa pertencendo ao concelho de Vagos. Esta praia tem problemas crónicos de erosão devidos ao défice sedimentar motivado pela redução de caudal das fontes sedimentares e da dificuldade de transposição da embocadura da Ria de Aveiro. Associado ao problema erosivo, a amplitude de marés-vivas (com cerca de três metros) e fundo arenoso tornam esta praia complexa do ponto de vista de gestão e mitigação da erosão costeira. A Vagueira conta algumas intervenções para a sua proteção, incluindo a construção de estruturas (uma de defesa

aderente e um esporão) e algumas alimentações artificiais (Sancho *et al.,* 2019). Devido aos graves problemas erosivos e de galgamento, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) contratou um estudo ao Consórcio LNEC, UAVEIRO e IST para o estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira com três principais objetivos: 1) diminuição do risco de galgamentos, 2) promoção do acréscimo do areal para diminuição da erosão e inundação costeira, aumentando também o seu potencial balnear 3) melhoramento das condições para a pratica de surf. (Sancho *et al.,* 2019). Este trabalho baseia-se numa abordagem a longo prazo (20 anos) focando essencialmente na mitigação do problema erosivo para um troço de 2 km frente à Vagueira. Numa primeira abordagem, foi fixado o valor do bordo livre do quebra-mar (0.5m na baixa-mar de águas vivas), que equivale a uma cota de coroamento de (+0.34m ZH), a orientação do eixo paralela à defesa frontal existente no local, largura do coroamento de 10m, cota de fundação variável de (-3 a -7m ZH) e inclinação de taludes no extradorso de (1:10) e intradorso de (1:2), forma linear, construído com manto de enrocamento (D_{50}=1.5m) (Sancho *et al.,* 2019).

Os parâmetros são a distância da estrutura à costa e o comprimento do QMS (Fig. 1). Foi utilizada uma série de agitação obtida por *hindcast*, horária, propagada até à cota de -12m ZH, compreendida entre o período de 1979 a 2018. As características médias do clima de agitação estão apresentadas na Tabela I.

Tabela I: Características médias no período 1979-2018, adaptado de Sancho et al., (2019).

	Ao largo	-12m ZH
Altura significativa Hs (m)	2	1.9
Direção da onda (º)	292	296
Período de pico da onda Tp(s)	10.8	

A LC inicial foi extraída do ortofotomapa disponibilizado na plataforma COSMO (APA, 2019) com data de levantamento de 31/08/2018.

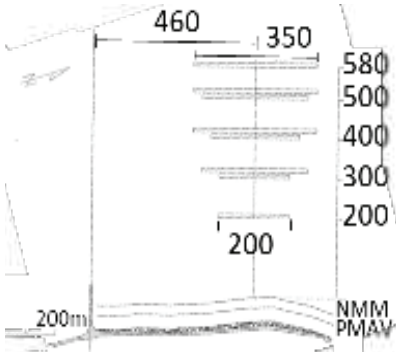


Fig 1. Esquema ilustrativo com várias das localizações e comprimentos de QMS, a testar em modelo matemático (Sancho et al, 2019).

2.2. *Modelos Litmod e DREAMS*

O modelo Litmod (Vicente, 1991) modela quebra-mares submersos na versão de 2018 (Vicente e Clímaco, 2018). Para simular o comportamento do quebra-mar submerso, os autores juntaram à ação das ondas difratadas, o fenómeno de transmissão. Foi realizada a simulação do trecho desde a embocadura da Ria de Aveiro (à esquerda do gráfico) até à praia do Areão (à direita do gráfico) tendo sido utilizado como condições de fronteira laterais a posição fixa da linha de costa.

O modelo DREAMS (Fortes, 1993) simula a propagação e deformação de ondas monocromáticas em regiões de profundidades variáveis. Utiliza a equação de declive suave de Berkhoff (1972) na sua versão elíptica, incluindo a ação combinada da refração e difração das ondas sobre fundos pouco profundos e irregulares. Este modelo reproduz o comportamento e as interações lineares das ondas em zonas costeiras e abrigadas. Como input, é necessário a informação batimétrica sobre uma malha de elementos finitos triangulares da zona a simular, bem como a agitação na fronteira de entrada do modelo e as condições de reflexão/absorção nas fronteiras de saída. Os resultados obtidos são: velocidades orbitais e as características das ondas em qualquer ponto do domínio. Embora o modelo não contempla rebentação da onda devido à profundidade, este efeito foi tido em conta no cálculo do kt utilizando a limitação da altura de onda a 78% da profundidade.

2.3. *Coeficiente de transmissão* k_t

O coeficiente de transmissão (k_t) de uma estrutura do tipo quebra-mar relaciona a altura da onda incidente na estrutura com a altura da onda no seu intradorso. É importante para compreender como é que o QMS afeta a propagação da onda e consequentemente o transporte sedimentar e a evolução da LC. Existem várias equações empíricas para o cálculo do k_t como por exemplo D'Angremond *et al.,* (1996), Seabrook e Hall (1998) e Van der Meer *et al.,* (2004).

D'Angremond *et al.,* (1996) analisaram dados de laboratório de transmissão de ondas (no total cinco base de dados), obtendo a Eq. 1 para o cálculo do coeficiente de transmissão:

$$K_t = 0.4\,\frac{h_s}{H_i} + \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0.31} a(1 - e^{-0.5\xi}) \qquad \text{Eq. 1}$$

onde h_sé altura da crista do QMS, H_i é a altura da onda incidente, B é a largura da crista do quebra-mar, a é um parâmetro de calibração com o valor 0,64 para quebra-mares submersos permeáveis e 0,8 para quebra-mares submersos impermeáveis, e ξ é o número de Iribarren ($\xi = Declive\ de\ praia/\sqrt{H_i/L_0}$) sendo L_0 o comprimento da onda ao largo .

Seabrook e Hall (1998) também desenvolveram uma fórmula para o cálculo de k_t incluindo também o diâmetro do enrocamento (D_{50}) considerando cinco bases de dados (Eq. 2). Esta fórmula é válida para $0 \leq {h_s}/{D_{50}} \cdot {H_i}/{B} \leq 2.14$ e $0 \leq {h_s}/{D_{50}} \cdot {H_i}/{L_0} \leq 7.08$.

$$K_t = 1 - \left(e^{-0.56\left(\frac{h_s}{H_i}\right) - 1.09\frac{H_i}{B}} + 0.047\left(\frac{h_s}{D_{50}} \cdot \frac{B}{L_0}\right) - 0.067\left(\frac{h_s}{D_{50}} \cdot \frac{H_i}{B}\right) \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Van der Meer *et al.,* (2004) utilizaram sete bases de dados (incluindo modelos de larga escala, e de quebra-mares de elevada permeabilidade) para desenvolver a fórmula presente na Eq. 3:

$$K_t = \begin{cases} 0.3\,\frac{h_s}{H_i} + 0.75\left(1 - e^{-0.5\xi}\right) \; para\; \xi < 3 \\ 0.3\,\frac{h_s}{H_i} + \left(\frac{B}{H_i}\right)^{0.31} 0.75\left(1 - e^{-0.5\xi}\right) \; para\; \xi \geq 3 \end{cases}$$

$$\text{para } 0.075 \leq K_t \leq 0.8 \quad \text{Eq. 3}$$

Estas fórmulas já foram validadas inúmeras vezes e são utilizadas consoante as características morfológicas e oceanográficas do local em estudo. Contudo, para a costa oeste portuguesa ainda não existe consenso sobre a fórmula que melhores resultados produz.

Para o cálculo de k_t a utilizar nas simulações de evolução de LC foi utilizado o clima de agitação propagado até à profundidade de -12m ZH em frente à praia da Vagueira. Esta série foi utilizada para o cálculo empírico dos valores de k_t com as fórmulas referidas e como input do modelo DREAMS para a obtenção das características das ondas na zona abrigada, de forma ser possível inferir o k_t de cada onda.

Com as características das ondas na zona abrigada é possível calcular o efeito do QMS (difração e transmissão) comparando as ondas à profundidade de 12m com as ondas na zona imediatamente após a estrutura.

3. RESULTADOS

3.1. Coeficiente de transmissão k_t

Os resultados obtidos através da aplicação das fórmulas empíricas para cálculo do k_t estão apresentados na Tabela II, bem como os parâmetros considerados em cada fórmula. Nesta, os valores apresentados correspondem à média de todos os kt obtidos, para cada condição de agitação marítima e nível de maré, da série de 20 anos.

Tabela II: Valores de k_t e os parâmetros considerados nas fórmulas empíricas).

	k_t	H_i	L_0	h_s	B	ξ	D_{50}
D'Agremond et al., (1996)	**0.48**	✓	✗	✓	✓	✓	✗
Seabrook e Hall (1998)	**0.63**	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Van der Mer et al., (2004, 2005)	**0.48**	✓	✗	✓	✓	✓	✗

Os valores de Seabook e Hall são próximos dos valores de Van der Mer, porém os únicos parâmetros em comum são a largura e a altura da crista e a altura da onda incidente.

Os resultados do k_t provenientes do modelo DREAMS determinam-se através da razão entre a altura da onda antes do QMS e logo após a sua transposição. Nos casos em que ocorre rebentação da onda sobre o quebra-mar, foi aplicada a redução da altura de onda correspondente *a posteriori*. Para cada configuração foi calculado um k_t médio (representado na Fig. 3) resultante de simulações de condições de agitação correspondentes a 39 anos de dados de agitação local, cujos resultados são apresentados na Fig. 3.

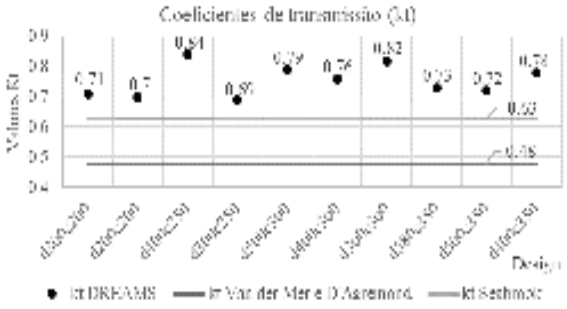


Fig 3. Coeficientes de transmissão calculados para cada design de QMS (d: distância à costa e c: comprimento do QMS, ambos em metros).

Não existe uma relação evidente entre o valor de k_t do DREAMS e a configuração do QMS, nem se observa nenhuma relação do k_t com a distância a costa ou com o comprimento do QMS quando analisados em separado.

3.2. Linhas de costa

Para cada configuração foi simulada a evolução da LC para o período de 2020 a 2040. Verificou-se uma grande variabilidade da resposta da LC à variação do parâmetro k_t para a mesma geometria do QMS (Fig.4). Para cada geometria foi considerada uma linha média e o seu valor máximo, mínimo e desvio padrão, de forma a demonstrar a variabilidade associada à variação do k_t.

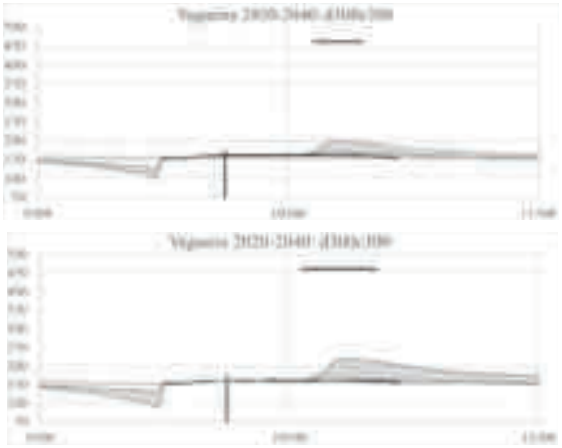


Fig. 4. Simulação da evolução da LC para QMS com design d300c200 e d300c300. Zona a sombreado cinzento representa a variação da posição da linha de costa, considerando todos os k_t estudados (d: distância à costa e c: comprimento do QMS, ambos em metros).

Para a mesma distância, a variabilidade da LC pode ser diferente para cada comprimento de QMS.
Apresentam-se também a erosão máxima e acreção máxima associado a cada design utilizando o k_t calculado pelo modelo DREAMS (Tabela III). O comprimento do saliente foi determinado pela distância entre células, à esquerda e à direita do ápice do saliente, que apresentavam um crescimento de 20% do valor de acreção máxima (no ápice).

Tabela III: Valores de acreção e erosão máxima e comprimento do saliente de todos os designs do QMS para k_t variável (DREAMS.

Design	Acreção máxima (m)	Erosão máxima Labrego (m)	Erosão máxima a sul (m)	Comprimento do saliente (m)
d300c200	*26.40*	*-40.07*	*-50.37*	*633*
d200c200	*37.83*	*-49.90*	*-54.07*	*917*
d400c250	*23.87*	*-37.73*	*-50.27*	*717*
d300c250	*34.23*	*-47.43*	*-55.00*	*992*
d500c300	*22.87*	*-34.50*	*-50.43*	*933*
d400c300	*30.40*	*-41.87*	*-54.60*	*1058*
d300c300	*36.73*	*-48.03*	*-57.90*	*1125*
d580c350	*23.83*	*-31.07*	*-52.33*	*1150*
d500c350	*30.10*	*-36.90*	*-54.87*	*1142*
d400c350	*35.23*	*-45.60*	*-58.23*	*1225*

Os resultados da acreção máxima confirmam o melhor desempenho para os casos d200c200, d300c250, d300c300, d400c300, d400c350 e d500c350. Em todos eles, o valor médio da acreção máxima associada ao saliente foi da ordem de 30 a 35 m.
Como esperado, os QMS que apresentam uma maior acreção encontram-se mais junto a costa e provocam uma maior erosão na praia do Labrego (a sul do esporão da Vagueira). Para todas as configurações do QMS, a erosão máxima varia entre -30 e -50 m, ao fim de 20 anos. Ou seja, a taxa de erosão máxima varia, grosso-modo, entre -1,5 e -2,5 m/ano.
O comprimento do saliente está diretamente relacionado com o comprimento do QMS, sendo que para o mesmo comprimento da estrutura, distâncias à costa maiores levam a um aumento do comprimento do saliente.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os k_t mais elevados podem ser considerados mais conservadores, reproduzindo uma LC que retrata uma influência do QMS mais reduzida na evolução da LC. Os valores calculados pelo modelo DREAMS são muito próximos ao valor dado pela fórmula empírica de Seabrook e Hall (1998).
Para cada configuração do QMS, a evolução da LC e os resultados dos parâmetros dependem do método usado para o cálculo do coeficiente de transmissão. Como esperado, nos casos em que o k_t é menor (Van der Mer e D'Agremond), os resultados são mais favoráveis ao crescimento do saliente, com consequente maior erosão a sul do esporão da Vagueira.
Em todos os parâmetros a variabilidade associada ao método de cálculo do k_t (é muitas vezes superior à variabilidade que resulta da configuração do QMS.
Para a mesma distância à costa, a variabilidade da LC pode ser diferente, dependendo do comprimento do QMS.

Agradecimentos
Este artigo foi financiando pela Fundação da Ciência e Tecnologia, no âmbito da bolsa de Doutoramento da autora Soraia Teixeira (PD/BD/128510/2017). Agradeço gentilmente à Agência portuguesa do Ambiente e ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil pela cedência dos dados.

REFERÊNCIAS

APA (2019). COSMO: Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental, acessível em: https://cosmo.apambiente.pt/
Berkhoff, J. (1972). Computation of combined refraction — Diffraction. Coastal Engineering 1972.
D'Angremond, K., Van Der Meer, J. W., & De Jong, R. J. (1996). Wave transmission at low-crested structures. Coastal Engineering 1996.
Fernandes, C.E.R.S.C. (2017). Análise do desempenho de obras longitudinais aderentes e quebra-mares destacados. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 129 pp.
Fortes, J, C. (1993.). Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos) (Tese de mestrado). IST, Lisboa, Portugal.
Sancho, F., Neves, M. G., Fortes, C. J., & Capitão, R. (2019). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da vagueira. Estudos em modelo matemático: Memória descritiva, Relatório 4. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
Seabrook, S. R., & Hall, K. R. (1998). Wave transmission at submerged Rubblemound breakwaters. Coastal Engineering 1998.
Van Der Meer, J. W., Briganti, R., Wang, B., & Zanuttigh, B. (2004). Wave transmission at low-crested structures, including oblique wave attack. Coastal Engineering 2004.
Vicente, C. (1991). Aperfeiçoamento de métodos de modelação matemática e física aplicáveis a problemas de erosão costeira. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
Vicente, C., & Clímaco, M. (2003). Evolução de linhas de costa: desenvolvimento e aplicação de um modelo numérico. Lisboa, LNEC.
Vicente, C., & Clímaco, M. (2018). Programação do galgamento de Quebra-mares. Lisboa: LNEC.

Preliminary evaluation of Sentinel-derived Suspended Particulate Matter and turbidity products in the Sado estuary (Portugal)

Sent, G. (1); Biguino, B. (1); Cruz, J. (1); Heumüller, J. (1); Cardoso, I. (1); Sá, C. (1, 2)[+]; Dogliotti, A. (3); Brotas, V. (1); Brito, A. C. (1)

(1) MARE-ULisboa – Marine and Environmental Sciences Centre, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016, Lisboa, Portugal. gsent@fc.ul.pt

(2) CIMA-UAlgarve – Faro, Portugal

(3) IAFE - Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET/UBA, C.C. 67 Suc.28 (C1428ZAA), Ciudad Universitaria Buenos Aires, Argentina

(4) + currently at Portugal Space

Abstract: Monitoring water quality parameters and their ecological effects is usually achieved through field sampling programs. However, this can be labour intensive and expensive and it is often necessary to assume that in-situ samples, which are limited spatially and temporally, are representative of the total area of interest. In this preliminary study, we consider the potential application of Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites data for monitoring Suspended Particular Matter (SPM) and turbidity by combining different algorithms and atmospheric correction schemes. For this purpose, in-situ data have been collected in the Sado estuary (Portugal), within the framework of the AQUASado project, between March 2018 and June 2019, to evaluate the agreement between in-situ measurements and satellite-derived estimates. Results suggest that turbidity is retrieved with smaller uncertainties when compared to SPM which might need a local calibration. Nevertheless, preliminary results demonstrate that remote sensing could be a good cost-effective option for monitoring these water-quality parameters with high spatial/temporal resolution

Key-words: estuary, remote sensing, SPM, turbidity, water-quality.

1. INTRODUCTION

Monitoring turbidity (Turb) and Suspended Particulate Matter (SPM) concentration in estuarine waters is of great scientific interest mainly because of their major role in controlling the penetration of the light into the water column. Through light absorption and scattering, the presence of suspended particles reduce the penetration of the solar irradiance within the water column and limits the Photosyntetically Available Radiation (PAR) for primary producers (like phytoplankton cells).

Regarding water quality monitoring, turbidity is defined as the reduction of transparency of liquids caused by the presence of SPM (ISO 7027) and is listed as a mandatory parameter to be measured by EU member states in the Water Framework Directive (European Union, 2008). The more particles are suspended in the water, the more difficult will be for the light to penetrate into the water column, therefore the higher the water turbidity. Turbidity is an optical property, a measure of scattering (Bowers and Binding, 2006; Bukata *et al.*, 2018), while SPM is a measure of particle concentration (mgL^{-1}).

The monitoring of these water quality indicators (and their consequent effects) is usually achieved through field sampling programs. Although the high accuracy of the *in situ* measurements, it is often necessary to assume that the samples, which are limited both spatially and temporally, are representative of the total area of interest (Liu *et al.*, 2017). Moreover, conducting regular field samplings can be labour intensive, time consuming and expensive.

In this context, remote sensing techniques offer many advantages over traditional sampling methods mainly because of their spatial and temporal consistency.

However, even if SPM and turbidity can be detected from space because of their optical properties, some constrains must be taken into account, especially for optically complex waters, as can be the estuaries, as they are independently influenced by suspended matter, phytoplankton and coloured dissolved organic material.

The first challenge is to perform the atmospheric correction (AC), a crucial step when using remote sensing imagery as it removes the signal coming from the atmosphere from the total signal received by the satellite-sensor. The AC in such mutable and complex waters, requires different approaches from the ones used for land and open ocean applications. A second challenge is to retrieve the different parameters contributing to the optical signal since a high range of optical variability can be found in an estuary.

This optical variability challenges the application of standard optical algorithms for water quality monitoring and therefore the validation of such products by performing comparisons with *in situ* data is a crucial step for reliable analysis.

Furthermore, most of the algorithms for SPM and turbidity retrieval are often calibrated regionally for the optical characteristics of the different sites. Thus,

the performance of such algorithms outside their calibration region is also a key question.
In this context, the main aim of this work is to make a preliminary evaluation of the performance of different algorithms for SPM and turbidity by comparing *in situ* collected data with satellite-derived water products in a highly dynamic system as is the Sado estuary (Portugal). For this purpose, Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites have been chosen to identify the best processing chain to retrieve quantitative and qualitative information of the SPM and turbidity distribution. The reflectances obtained from 5 AC processors (Table I) have been used to test SPM and turbidity algorithms with global applicability, *i.e.* Nechad *et al.* (2009, 2010) and Dogliotti *et al.* (2015), and the standard SPM product from the C2RCC processor have also been tested.

2. METHODS

2.1. In situ data

Monthly sampling in the Sado estuary (figure 1) was conducted between March 2018 and June 2019 in the framework of the AQUASADO project.

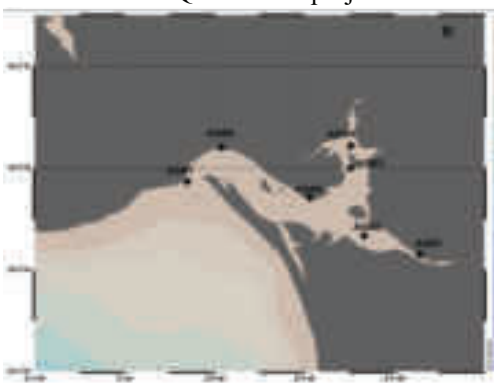


Figure 1. Location of the sampling stations within the Sado estuary (Portugal).

The SPM concentration (mgL^{-1}) was determined following the method described in Van Der Linde (1998). The surface water samples were filtered using pre-ashed, pre-weighted GF/F Whatman filters (nominal pore size 0.7µm and 47 mm diameter), with volume dependent on the amount of material present in the water. To quantify sample variability, all the filtrations have been done in triplicate.
Turbidity data were obtained in the laboratory using the Lovibond infrared turbidimeter TB 210 IR from the same water samples used for the SPM quantification. The turbidity is reported in Nephelometric Turbidity Units (NTU) with an accuracy of ±2.5% of reading and always recorded in triplicates.

2.2. Remote sensing data

Data from Sentinel-2 (A/B) and Sentinel-3 (A/B) corresponding to the same day of *in situ* sampling have been used. L1C and L2 data have been downloaded from Sentinel Scientific Data Hub (https://scihub.copernicus.eu/) and Copernicus Open Data Access (https://coda.eumetsat.int/), respectively.

For the Sentinel-2 (S2) pixel extraction, all bands have been resampled to 60 m and data from a single pixel have been retrieved for the *in situ* comparison. For this work the single pixel value has been used rather than the mean of 3 x 3 pixels because the resolution was already resampled from 10 and 20 m to 60 m. Regarding the Sentinel-3 (S3) pixel extraction, a single pixel value has also been used for the match-ups considering OLCI (sensor onboard of S3) resolution (*i.e.* 300 m) and the reduced size of the sampling area. Finally, the match-ups have been filtered by time between the satellite passage and the *in situ* measurements, considering a window of ±2 h, and by the consideration of different pixel quality flags (per-pixel quality information, i.e. cloud contamination, sensor saturation).
The number of total match-ups is depended on the AC algorithm. Each processor has been used with its default settings, as this is the standard option for general use without *a priori* knowledge of the water body or atmospheric condition. The AC processors tested on the present work are presented in Table I.

Table I. Summary of the AC processors used in this work for each satellite.

	Sen2Cor	*ACOLITE*	*C2RCC*	*POLYMER*	*BAC/BPAC*
S2	X	X	X	X	
S3			X	X	X

The water-leaving reflectances obtained from the different AC processors (Table I) were converted into SPM concentration and turbidity values by the application of various algorithms. For the SPM retrieval, semi-analytical algorithm (Nechad *et. al,.* 2010) has been applied at different wavelengths (Table II) and standard SPM product from the C2RCC processor has also been tested. Regarding the turbidity product, the algorithms proposed by Dogliotti *et al.* (2015) and Nechad, *et. al.,* (2009) have been tested (Table II).

Table II. Wavelengths tested for the different algorithms.

Algorithm	*S2 bands (nm)*	*S3 bands (nm)*
C2RCC- SPM standard product	Neural Network	Neural Network
Dogliotti et., al., 2015	665	665
Nechad et. al., 2009 *Nechad et. al., 2010*	-	620
	665	665
	705	709
	740	754
	783	779
	865	865

To assess the best performing processing chain for the SPM and turbidity retrieval, the linear correlation between satellite-derived estimates and *in situ* measurements have been evaluated. A set of statistical parameters have been used to select the best performing processor and algorithm (*i.e.* slope and intercept of the regression line, the standard error of the estimates, the R^2, APD - Absolute Percent Difference, RPD - Relative Percent Difference and RMSE - Root Mean Square Error).

3. PRELIMINARY RESULTS AND DISCUSSION

No *in situ* radiometric measurement were available for the direct test of the AC processors. Because of this, the SPM and turbidity algorithms under investigation have been tested on satellite data considering the combined result of the AC processors + optical algorithm. Finally, the satellite-derived estimates have been compared with the corresponding *in situ* values

3.1. SPM product

Considering S2 images, the four processors combined with Nechad *et al.* (2010) algorithm can be divided into 2 groups, one including Acolite and Sen2Cor and the second one C2RCC and Polymer. There are clear differences between the two groups of processors, with the second group outperforming the first at all wavelengths. C2RCC and Polymer performed similarly, with Polymer presenting slightly better correlations and slopes when compared to C2RCC. Scatterplots showing the best S2 estimates *versus* observed SPM results are presented in figure 2.

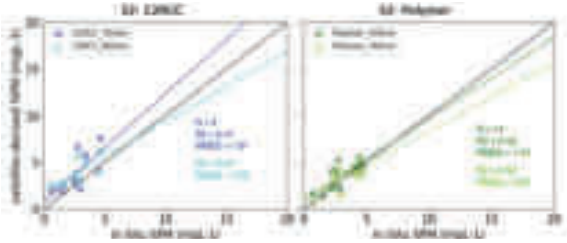


Figure 2. Comparison of in situ and S2-derived SPM estimates. The solid lines represent the best linear fit to the data and the black dashed lines show the 1:1 relationship.

Similar results have been found by comparing the S3-derived SPM (Figure 3) with *in situ* measurements, being C2RCC and Polymer the best performing processors. In this case, C2RCC processor is presenting better correlation and a smaller deviation between satellite and in situ measurements when compared to Polymer.

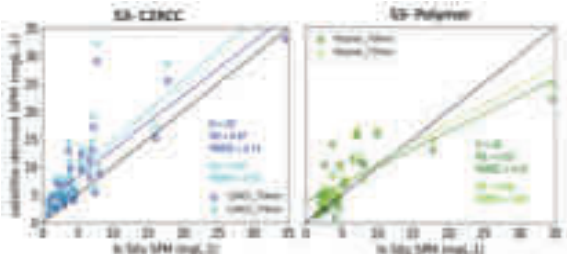


Figure 3. Comparison of in situ and S3-derived SPM estimates. The solid lines represent the best linear fit to the data and the black dashed lines show the 1:1 relationship.

With both satellites, the standard SPM product estimated by the C2RCC Neural Network (not presented here) did not present satisfactory results with low correlation between satellite-derived estimates and in situ measurements (R^2<0.2). However, the tested semi-analytical algorithm performed better in retrieving the SPM using C2RCC reflectances instead of the standard SPM product. This suggests that the atmospheric correction part of the processor performs relatively well compared to the water-parameters retrieval part of the Neural Network. In all the cases, none of the processors and algorithms showed to agree on the best performing wavelength for the SPM retrieval.

3.2. Turbidity product

For the turbidity product the same approach used for the SPM has been applied. The AC processors have been tested in combination with Nechad algorithm at different wavelengths and the Dogliotti algorithm at 665 nm. In Figure 4, the best performing combinations of AC with turbidity algorithms are presented. Again, the C2RCC and Polymer resulted to outperform the other AC processors for both satellites (Figure 4).

The turbidity retrieved from S2 data, showed a high degree of similarity with *in situ* measurements (R^2 > 0.7) when C2RCC or Polymer processors and the Nechad algorithm are used. Considering S2 results, both processors agreed on the best performing wavelength, 783 nm, which also present the smallest deviation between satellite and *in situ* measurements. Regarding S3, no specific wavelength showed to best represent the in situ variability.

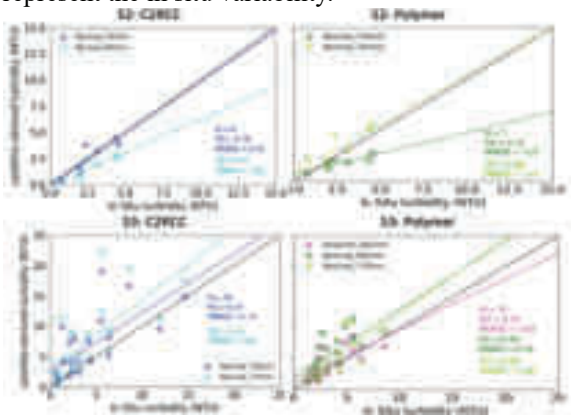


Figure 4. Comparison of in situ and satellite-derived turbidity estimates (S2 top row, S3 bottom row). The solid lines represent the best linear fit to the data and the black dashed lines show the 1:1 relationship.

When comparing the Nechad and Dogliotti algorithms, very similar results have been found, as expected, but with general lower errors when processing with Dogliotti *et al.* (2015).

From this preliminary results, lower correlations are found when deriving turbidity from S3 compared to S2. This is in contrast with what was expected because OLCI sensor onboard of the S3 was specifically developed for water applications and a better performance was expected compared to the MSI sensor onboard of the S2. This might be due to the coarse spatial resolution of the OLCI sensor (300 m) compared to the location of the sampling stations which are very close to the shore. The reflectance of a pixel corresponding to 300 m might be contaminated by the adjacent land. This could lead to significant errors in the *in situ* comparison.

4. CONCLUSIONS

Even with a reduced dataset, 2 out of the 5 AC processors resulted to better perform the removal of the atmospheric signal for a better retrieval of the SPM and turbidity: the C2RCC and Polymer. From this preliminary results, C2RCC processors seems to have better performance when processing S3 data, while Polymer shows better results with S2 data.

A previous work performed in the Tagus estuary (Sent, 2020) showed that S3-retrieved SPM and turbidity presented significantly better correlations with respect to the results of S2 satellite, showing the good capabilities of the S3 Ocean Colour sensor for the retrieval of such products in transitional waters. However, this study applied to the Sado estuary showed that there are some limitations on the use of the S3 in smaller estuaries. In fact, the SPM and turbidity products derived from S3 in the Sado estuary showed poorer correlations with respect to the Tagus estuary, while very similar correlations and errors have been found with S2 data.

In general, comparing the SPM and turbidity products, the turbidity retrieval gave better correlations with respect to the SPM retrieval. This might be due to different factors. First, the turbidity is less subject to measurement errors than *in situ* SPM. Röttgers *et al.* (2014) demonstrated that very large uncertainties can be associated to most of SPM samples estimates. Also, turbidity is an optical parameter highly related to backscattering (Dogliotti *et al.*, 2015) and thus to reflectance.

To explain the poorer retrieval of SPM through a global algorithm respect to turbidity, the differences between the SPM and turbidity algorithms should be noted, as suggested by Dogliotti *et al.* (2015). In fact, since turbidity (a measure of side-scattering) is an IOP, it is not necessary to consider the potential variability of mass specific optical properties. On the other hand, SPM retrieval algorithms will be also sensitive to particle size, density and refractive index which can be important sources of regional variability for retrieval of SPM concentration. Given the non-linearity of SPM optic properties in estuarine environment (Mobley, 1994) and the presence and interaction of different optically active constituents such as CDOM and phytoplankton pigments, an algorithm calibrated regionally based on the optical characteristics of the type of waters under investigation is therefore needed to accurately quantify SPM from satellite data.

The results presented here showed that there is a strong need of more *in situ* information and to develop a regionally calibrated algorithm for SPM retrieval, since none of the approaches tested returned a significant agreement with the *in situ* data and high errors associated. Regarding the turbidity retrieval, different approaches tested on the present study showed that, even using default parameters for the processing, the correlation with the *in situ* data can be considered satisfactory to use the satellite-derived turbidity for water quality studies in the Sado estuary.

Acknowledgments

This work has been conducted in the framework of the AQUASADO project (MAR–02.01.01–FEAMP-0051) – Promoting Sustainable Aquaculture in the Sado estuary. Funded by Programa 2020. A.C. Brito was supported by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), through the Scientific Employment Stimulus Programme (CEECIND/0095/2017). This study received additional support from FCT (UIDB/04292/2020).

REFERENCES

Bowers, D. G. and Binding, C. E. (2006) 'The optical properties of mineral suspended particles: A review and synthesis', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi: 10.1016/j.ecss.2005.11.010.

Bukata, R., Jerome, J., Kondratyev, A., Pozdnyakov, D. (1995). Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. Boca Raton: CRC Press, https://doi.org/10.1201/9780203744956

European Union (2008) 'Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).', *Official Journal of the European Union*, 164, pp. 19–40.

Dogliotti, A. I. *et al.* (2015) 'A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier B.V., 156, pp. 157–168. doi: 10.1016/j.rse.2014.09.020.

International Organization for Standardization (ISO) (1999). Water quality – Determination of turbidity. ISO, 7027.

Liu, H. *et al.* (2017) 'Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake', *Remote Sensing*, 9(7), p. 761. doi: 10.3390/rs9070761.

Mobley, C. D. (1994) 'Light and water. Academic press, San Diego', *Academic press*. San Diego.

Nechad, B., Ruddick, K. G. and Park, Y. (2009) 'Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters', *Remote Sensing of the Ocean, Sea ice, and Large Water Regions,* 2009.Vol. 7473, doi: 10.1117/12.830700.

Nechad, B., Ruddick, K. G. and Park, Y. (2010) 'Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 114(4), pp. 854–866. doi: 10.1016/j.rse.2009.11.022.

Röttgers, R., Heymann, K. and Krasemann, H. (2014) 'Suspended matter concentrations in coastal waters: Methodological improvements to quantify individual measurement uncertainty', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi: 10.1016/j.ecss.2014.10.010.

Sent, G. (2020). 'Remote sensing for water quality studies: test of suspended particulate matter and turbidity algorithms for Portuguese transitional ad inland waters'. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Van Der Linde, D. W. (1998). Protocol for determination of Total Suspended Matter in Oceans and coastal zones. Ispra, Italy.

Phytoplankton biomass and bloom phenology patterns off the Western Iberian Coast (SW Europe)

Ferreira, A. (1,2); Brotas, V. (1,3); Palma, C. (2); Borges, C. (2); Brito, A. C. (1,3)

(1) MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. E-mail do primeiro autor: ambferreira@fc.ul.pt.

(2) IH – Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, Lisboa, Portugal.

(3) Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Resumo: O estudo das comunidades de fitoplâncton é essencial para um bom conhecimento dos ecossistemas marinhos. Como principais produtores do meio marinho, alterações no fitoplâncton podem ter consequências graves para o ecossistema pelágico, como desfasamentos entre blooms e o recrutamento de peixes pelágicos ou blooms de algas nocivas. Regiões de upwelling são particularmente importantes devido à sua elevada produtividade primária e consequente aumento dos recursos pesqueiros. Este estudo procurou analisar a biomassa e fenologia do fitoplâncton na Costa Oeste Ibérica (COI), usando dados de deteção remota de cor do oceano entre 1998-2019. Foram encontradas diferenças significativas ao longo da COI. As comunidades oceânicas são menos produtivas, formando blooms longos, de baixa biomassa. As zonas costeiras são heterogéneas, caracterizando por blooms curtos e de alta biomassa. Espera-se que este trabalho contribua para a gestão da COI e de outras regiões de upwelling, particularmente sob a ameaça das alterações climáticas.

Palavras-chave: coastal upwelling, phytoplankton communities; remote sensing, western Iberian coast.

1. INTRODUCTION

Understanding how phytoplankton communities change is instrumental for managing marine ecosystems. As the main producers in the ocean, phytoplankton are bioindicators of environmental changes. This is especially relevant as anthropogenic climate change continues to shape the global ocean, influencing phytoplankton biomass and bloom timing. For instance, a major consequence of changes in bloom timing is a mismatch between phytoplankton blooms and pelagic fish spawning, potentially causing devastating losses in fish production (Platt et al., 2003).

Satellite remote sensing has been increasingly important for the study of phytoplankton communities in the ocean. Satellite data allows for long-term, continuous data, at a low end-user cost. Thus, it has become the most cost-effective method for studying phytoplankton, using chlorophyll *a* (Chl *a*), a proxy of phytoplankton biomass, at large scales. Consequently, it has become an important tool for studying complex marine regions, where phytoplankton communities are strongly influenced by highly variable environmental conditions, making it difficult to assess these regions.

Upwelling regions are particularly important, as the inhabiting phytoplankton communities fuel highly productive fisheries. Nevertheless, these regions must be carefully managed since anthropogenic pressure may influence the dynamics of coastal phytoplankton communities, promoting shifts in composition and altering phenological cycles (Häder & Gao, 2015; Marić et al., 2012).

This study aimed to analyze phytoplankton biomass and bloom phenology in the Western Iberian Coast (WIC), using a ocean colour remote sensing dataset spanning 1998-2019.

2. METHODS

Satellite-derived Chlorophyll *a* (Chl *a*; mg m^{-3}), a proxy of phytoplankton biomass, was acquired for the period between 1998 and 2019 (22 years), with a spatial resolution of 4x4 km. Chl *a* was extracted from the ESA Ocean Colour-Climate Change Iniciative (v4). Climatologies (i.e. mean Chl *a* concentration over a given period) were calculated for the full period of the dataset and for each season (spring, summer, autumn, winter). To investigate the variability of phytoplankton biomass off WIC, coastal (< 25 km) and oceanic (> 50 km) Chl a were separated and analyzed. Phytoplankton bloom phenology (i.e. the study of the intensity and timing of phytoplankton blooms) was also analyzed. In this work, main blooms were defined as seasonal events characterized by a strong increase in Chl *a* (with a duration higher than 15 days), such as the North Atlantic temperate spring bloom. Thus, it should not be mistaken with large biomass, short-lived blooms, typically linked with coastal nutrient runoff. The following phenological metrics were estimated: i) day of bloom initiation; ii) day of bloom termination; iii) duration of the bloom, and iv) day of bloom peak (i.e. maximum Chl *a* within bloom).

3. RESULTS

Chl *a* concentrations off WIC (Figure 1) range from < 0.5 mg m^{-3} (oceanic regions) to >3 mg m^{-3} (coastal regions) (Figure 1). Among the coast, the Portuguese central and northern sectors (>40ºN) and the Gulf of Cádiz (SW Spain) were especially productive.

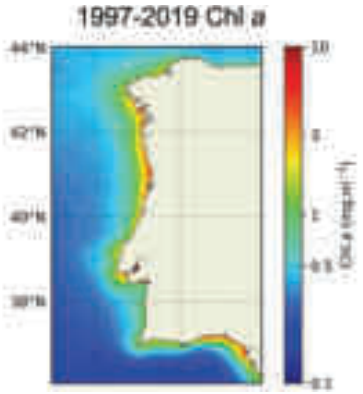


Figure 1: Mean Chl a concentration (mg m^{-3}) off WIC from 1997 to 2019.

Regarding the WIC's seasonality, spring is typically the season when phytoplankton biomass is higher (Figure 2). Biomass then decreases from spring to summer in the ocean, while it increases off upwelling centres (e.g. NW Portugal and Spain). Phytoplankton biomass in autumn is similar to summer, although it is slightly higher off NW Portugal and Spain. Winter acts as a transition zone between autumn and spring, as there is a clear increase in biomass preceding the spring bloom.

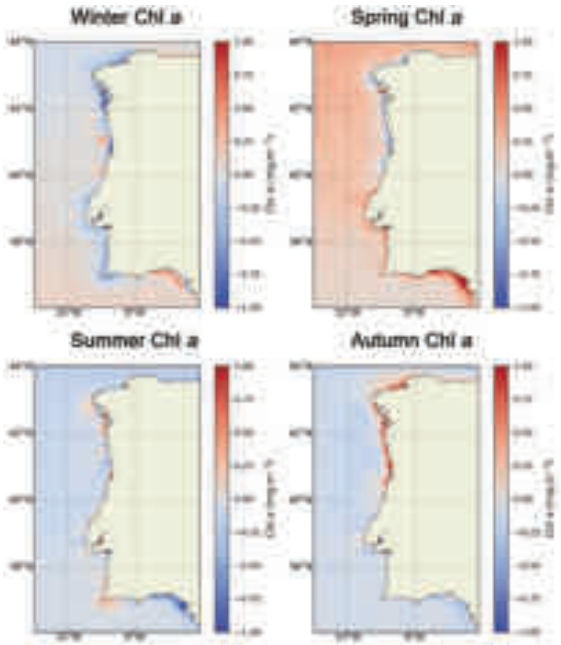


Figure 2: Mean difference between Chl a concentration (mg m^{-3}) during each season (winter, spring, summer, autumn) and mean Chl a concentration off WIC between 1997-2019.

Figure 3 highlights the difference in the variability of Chl *a* between the ocean and coast. While ocean Chl *a* (Figure 3-A) appears to repeatedly have typical annual peaks in spring, coastal Chl *a* (Figure 3-B) is much more variable. Moreover, in the ocean, there is a clear gradient from higher concentrations in the north to lower concentration in the south (Figure 2-A).

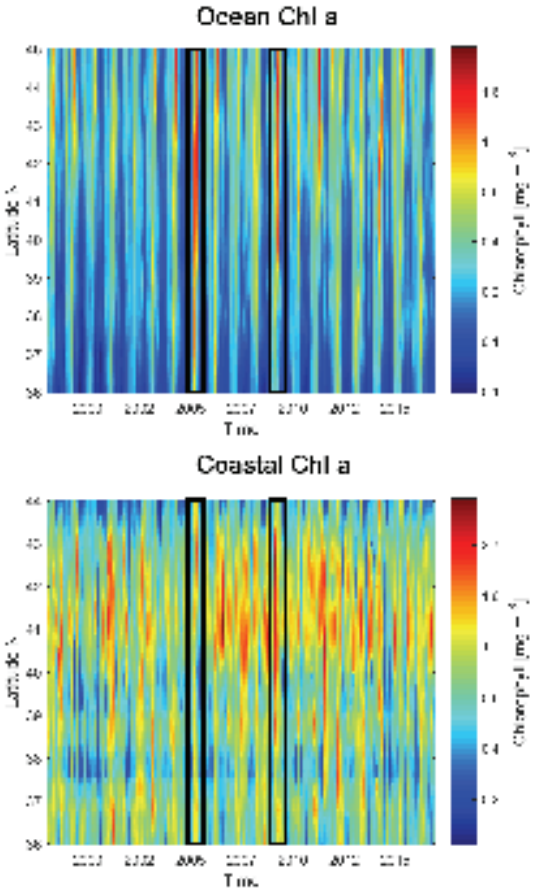


Figure 3: Mean Chl a concentration (mg m^{-3}) off WIC from 1998 to 2017, for coastal and oceanic waters off WIC. Chl a concentration is averaged for every 0.1ºN. 2005 and 2009 peaks are marked in black.

Coastal Chl *a* also exhibits a latitudinal gradient, although it is not so evident. Coastal phytoplankton off the WIC appears to be of higher biomass along three latitudes: i) 40ºN-43ºN, coinciding with the NW Iberian upwelling centre; ii) 38ºN-39ºN, a smaller area off Centre Portugal and the Lisbon Bay, where some upwelling events have already been described (Moita et al., 2003); and iii) 36ºN-37ºN, the latitudinal range of the Gulf of Cádiz, the most productive area in SW Iberia.

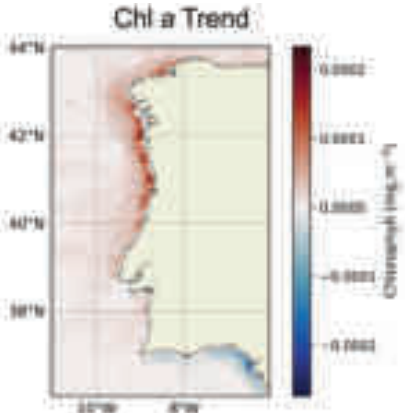


Figure 4: Linear trend (per year) in Chl a concentration between 1998 and 2018. Trend corresponds to the slope of the least-squares regression for each pixel. Adapted from Ferreira et al (2019).

Trend-analysis shows different patterns across the WIC (Figure 4). In the NW sector, phytoplankton biomass appears to be increasing over the past 20 years. A divergent trend was registered in the Gulf of Cádiz, where Chl *a* concentration was seen to lower.
Along with biomass, bloom timing also varied with latitude and distance to coast (Figure 5). Offshore, spring blooms typically initiated between November and February. Off SW Iberia, spring blooms started, peaked and terminated earlier than in the NW Iberia, consequently exhibiting a longer duration. Onshore, bloom timing was different along the coast. Sagres (SW Portugal) appears to act as a transition zone between the West coast (later blooms, upwelling-influenced) and the South coast (earlier blooms, similar to oceanic blooms). Coastal blooms were also shorter than oceanic blooms (<80 days), ending from August to October.

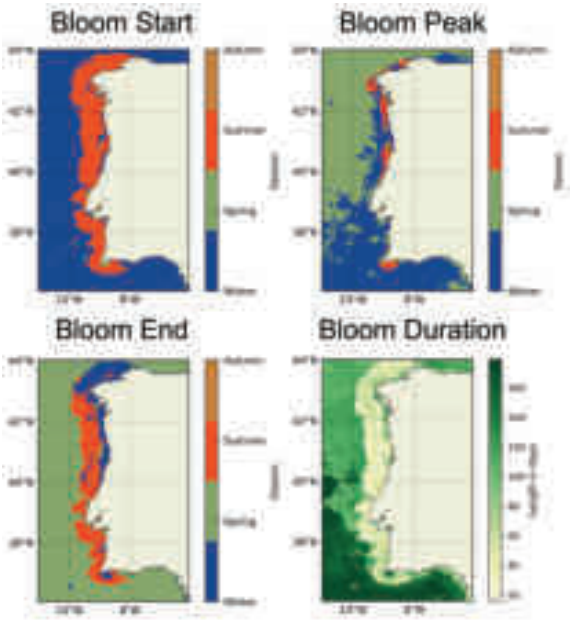


Figure 4: Mean timings of the main bloom initiation, peak and termination, as well as mean bloom duration off WIC from 1998 to 2019.

4. DISCUSSION

Phytoplankton biomass and phenology in the WIC were seen to be complex. A clear difference in biomass variability and bloom phenology between oceanic and coastal phytoplankton communities was observed. Coastal phytoplankton was marked by higher biomass and higher variability. Nevertheless, biomass was seen to be particularly higher across three sectors of the WIC, two in the West coast and one in the South coast. On the one hand, for one of these areas, the NW Iberia upwelling centre, phytoplankton biomass appears to be increase. On the other hand, phytoplankton biomass is decreasing in the Gulf of Cádiz, as shown by the trend analysis. Meanwhile, ocean Chl *a* was marked by recurrent biomass peaks in spring and higher biomass toward northern latitudes. Two main biomass peaks in 2005 and 2009 were identified, which may be linked to changes in basin-wide phenomena, such as the North Atlantic Oscillation and the Atlantic Multidecadal Oscillation.
Bloom phenology study also showed distinct patterns between ocean and coast. In the ocean, phytoplankton phenology was characterized by long, low-biomass spring blooms. A difference was observed between blooms in northern and southern waters, as blooms under 39ºN exhibited longer duration and early initiation dates. This contrasted with coastal phytoplankton communities. Onshore, blooms were short and of high biomass. Plus, high heterogeneity was observed in bloom timing, likely due to the oceanographic phenomena that denote the complexity of coastal WIC – upwelling, eddies and riverine input.
Coastal management must consider and monitor phytoplankton communities, particularly in complex regions such as the WIC. The WIC and other upwelling systems are especially susceptible to impacts derived from climate change or from anthropogenic pressure. Due to the relevant socioeconomic role of fisheries in the WIC, further studies focused should be performed in the future. The stock biomass and recruitment of commercial pelagic fish species (e.g. iberian sardine, *Sardina pilchardus*), may be particularly susceptible.
This work is expected to contribute with relevant information for managing WIC and other upwelling regions. Moreover, the results from this study will complement previous works that have used satellite data to support regional management of fisheries and aquaculture (e.g. Garrido et al., 2008; Brotas et al., 2014; Gomes et al., 2020).

Acknowledgements

A. Ferreira received a grant from the Mar 2020 – Programa Operacional Mar 2020, under the AQUIMAR project (MAR-02-01-01-FEAMP-0107). A. Ferreira also received a PhD grant (SFRH/BD/144586/2019) from Fundação para a

Ciência e a Tecnologia (FCT). A.C. Brito was also funded by FCT through the Scientific Employment Stimulus Programme (CEECIND/00095/2017). This work was also supported by funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme grant agreement N 810139: Project Portugal Twinning for Innovation and Excellence in Marine Science and Earth Observation – PORTWIMS. This study also received support from FCT (UID/MAR/04292/2019). This work also benefited from data collected and made freely available by the Infrastructure CoastNet (http://geoportal.coastnet.pt). This project was supported by (PINFRA/22128/2016), funded by Foundation for Science and Technology (FCT) and the European Regional Development Fund (FEDER), through LISBOA2020 and ALENTEJO2020 regional operational programmes, in the framework of the National Roadmap of Research Infrastructures of strategic relevance.

REFERENCES

Brotas, V., Couto, A.B., Sá, C., Amorim, A., Brito, A., Laanen, M., Peters, S., Poser, K., Eleveld, M., Miller, P. e Kurekin, A. (2014). Deriving Aquaculture indicators from Earth Observation in the AQUA-USERS project (AQUAculture USEr driven operational Remote Sensing information Services). *Ocean Optics XXII*, pp.1-9.

Ferreira, A., Garrido-Amador, P., e Brito, A. C. (2019). Disentangling environmental drivers of phytoplankton biomass off Western Iberia. *Frontiers in Marine Science*, *6*, 44.

Garrido, S., Ben-Hamadou, R., Oliveira, P. B., Cunha, M. E., Chícharo, M. A., & van der Lingen, C. D. (2008). Diet and feeding intensity of sardine Sardina pilchardus: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Marine Ecology Progress Series*, *354*, 245-256.

Gomes, M., Correia, A., Pinto, L., Sá, C., Brotas, V., Mateus, M. (2020). Coastal Water Quality in an Atlantic Sea Bass Farm Site (Sines, Portugal): A First Assessment. *Frontiers in Marine Science*. 7:175.

Häder, D. P., e Gao, K. (2015). Interactions of anthropogenic stress factors on marine phytoplankton. *Frontiers in Environmental Science*, *3*, 14.

Mahadevan, A. (2016). The impact of submesoscale physics on primary productivity of plankton. *Annual review of marine science*, *8*, 161-184.

Marić, D., Kraus, R., Godrijan, J., Supić, N., Djakovac, T., e Precali, R. (2012). Phytoplankton response to climatic and anthropogenic influences in the north-eastern Adriatic during the last four decades. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *115*, 98-112.

Moita, M. T., Oliveira, P. B., Mendes, J. C., and Palma, A. S. (2003). Distribution of chlorophyll a and Gymnodinium catenatum associated with coastal upwelling plumes off central Portugal. *Acta Oecologica.* 24, S125–S132.

Platt, T., Fuentes-Yaco, C. e Frank, K. T. (2003). Spring algal bloom and larval fish survival. *Nature*, 423(6938), 398–399.

Phytoplankton community in the Sado estuary

Santos, M. (1); Amorim, A. (1,2); Cruz, J. P. C. (1); Veloso, V. (1); Favareto, L. R. (1); Dâmaso-Rodrigues, M. L. (1); Palma, C. (3); Borges, C. (3); Chainho, P. (1,4,5); Félix, P. M. (1); Brotas, V. (1,2); Brito, A. C. (1,2)

(1) MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal. marianasantinho@gmail.com; msvsantos@fc.ul.pt.

(2) Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal.

(3) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Lisbon, Portugal.

(4) Departamento de Biologia Animal, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

(5) Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal

Abstract: Estuaries are important coastal ecosystems and sustain some of the most productive communities of primary producers. It is essential to understand the spatio-temporal variability of environmental and biological components and to ensure the environmental quality of the whole system. This study aims to characterize the spatio-temporal variability of phytoplankton assemblages in the Sado estuary and to relate them with the main local environmental drivers. Sampling was conducted monthly (March-December) during 2018 in 4-regions of the estuary. Water samples were collected to analyze phytoplankton and physico-chemical parameters (e.g. temperature, salinity, turbidity and nutrient concentrations). Phytoplankton maximum concentration was observed upstream in May, and 1-month later downstream. Cryptophytes and other small flagellates were the dominant groups recorded upstream, although diatoms were also relevant in summer/autumn. Downstream, diatoms were dominant, except in April and October, when dinoflagellates dominated, mostly due to the presence of harmful species (respectively, *Prorocentrum cordatum* and *Gymnodinium catenatum*).

Keywords: environmental drivers, environmental quality, estuary, phytoplankton.

1. INTRODUCTION

Estuaries are among the most productive ecosystems in the world. In Portugal, the Sado estuary is the second largest estuary on the west coast. It is a well-mixed estuary (Coutinho, 2003), and supports a great variety of activities, such as industrial, urban waste disposal, harbor associated activities, agriculture, fisheries, aquaculture and recreational activities (Cabrita et al., 2020).

Phytoplankton is highly sensitive to changes in its environment, providing a good insight into water quality before eutrophication becomes excessive, and before changes become visible at higher trophic levels (Brettum and Andersen, 2005). The Sado estuary is a relatively well-studied system with several works on phytoplankton since the 60's (e.g. Oliveira e Coutinho, 1992; Sampayo, 1970). However, the research effort has not been balanced across the entire system, nor throughout seasons. To fill this gap another study was performed in the 90's evaluating the spatio-temporal variability of phytoplankton and characterizing the trophic status of the Sado estuary (Coutinho, 2003).

As part of an on-going project to assess the current trophic state of the estuary, this study aims to characterize the spatio-temporal variability of phytoplankton assemblages in the Sado estuary and to relate it with the main local physico-chemical drivers.

2. METHODS

The study was conducted in the Sado estuary, located in Setúbal Bay on the western Portuguese coast (Fig. 1). Four regions of the estuary were sampled: one station upstream (#1) near Alcácer channel under a strong influence of the Sado river, two in the middle region (#3 and 5, being #3 located to the north in the Marateca channel) and another one downstream near the mouth of the estuary (#7) (Fig. 1).



Fig. 1. Map of the study area with the location and identification of each study site.

To analyze the phytoplankton community, surface water samples (125 mL) were collected monthly from March to December of 2018 during high tide. Samples were field fixed with acid Lugol's solution (Throndsen, 1978). Phytoplankton identification and quantification (cells L^{-1}) was carried out by settling 10-50 mL of water following the Utermöhl method (Utermöhl, 1958), and analyzed with an inverted microscope equipped with phase contrast and bright

field illumination (Zeiss Axiovert 200) at magnifications of 200x and 400x. To achieve a representative sample, more than 400 cells were identified and counted at the lower magnification, except for around 8% of total samples where, due to the low phytoplankton concentration, only 200 cells were identified and counted.

Several physico-chemical drivers were measured *in situ* or in lab. The Secchi depth (m) was obtained using a 30 cm wide white disk and water temperature (ºC) using a multiparametric probe (Hydrolab, DS4 or DS5X models). Salinity was measured with a salinometer (Guildline Autosal8400B), pH and turbidity with laboratory meters (Metrohm 827 Lab and Merck Turbiquant 3000IR, respectively). The concentration of nutrients was obtained using a Skalar SANplus Segmented Flow Auto-Analyzer designed for saline water analysis (Si, PO_4, DIN-dissolved inorganic nitrogen composed of NO_2, NO_3 and NH_3, DN-total dissolved nitrogen and DP-total dissolved phosphate, all quantified in µmol L^{-1}). Coloured dissolved organic matter (CDOM) was obtained by spectrophotometry (UV-2600 Shimadzu), and their spectral slopes (S) were calculated between 350−450 wavelength regions.

To analyze the spatio-temporal phytoplankton community structure and the underlying physico-chemical drivers, multivariate analyses were performed using PRIMER-E (version 6.1.13) with PERMANOVA (version 1.0.3) add-on software (Anderson et al., 2008; Clarke and Gorley, 2006). The taxonomic entities that occurred in less than 5 % of the total samples were excluded from the analysis. To reduce the disproportionate influence of highly abundant taxa, phytoplankton abundances were log (x+1) transformed. Based on a Bray-Curtis resemblance matrix, a permutational analysis of variance (PERMANOVA) was performed with 999 permutations for two fixed factors (study site and season) evaluated separately. Pair-wise tests for each factor were also performed. A Principal Coordinates Analysis (PCO) was used to visualize the multivariate patterns of the global phytoplankton composition (Anderson et al., 2008) and to explore the relationship between the environmental variables and phytoplankton. To this, the Spearman correlation was performed with the physico-chemical drivers and with the taxonomic class level. Only the variables with correlations higher than 0.25 were considered and for nitrogen and phosphate only the most significant form are shown. A significant level of $\alpha = 0.05$ was considered in all the analyses.

3. RESULTS

During the study period, the upstream stations (#1 and 3) reached phytoplankton maximum abundance in May (above 40 x 10^4 cell L^{-1}) (Fig. 2A and B), while the station located in the mouth of the estuary (#7) only reached the maximum abundance in June and with lower concentration (around 30 x 10^4 cell L^{-1}) (Fig. 2D). During the remaining period, phytoplankton concentration was always below 15 x 10^4 cell L^{-1} in all regions. Station #5 had always low phytoplankton concentration (Fig. 2C).

When analyzing the phytoplankton community at the class level, results showed big differences between the estuary mouth and stations located inside the estuary (Fig. 2). Cryptophytes were highly relevant in stations located inside the estuary (#1, 3 and 5) (Fig. 2A, B and C). At these stations, diatoms dominated in summer/autumn at #1, while they were almost absent at #3, and at #5 were present from spring to late-autumn. Station 5 was also characterized by the presence of dinoflagellates (Fig. 2C) showing some similarities with the downstream station (#7) (Fig. 2D). Diatoms were the dominant group near the mouth of the estuary, except in April and October when dinoflagellates dominated (Fig. 2D). Cryptophytes were also relevant in early-spring and from summer to early-winter. In this station, dinoflagellates were dominated by *Prorocentrum cordatum* in April (14 x 10^4 cell L^{-1}) and by *Gymnodinium* spp. and *Gymnodinium catenatum* in October (6 x 10^4 cell L^{-1}).

The PERMANOVA analysis performed for all taxonomic entities identified resulted in significant differences observed in space (sampling sites) and in time (seasons) ($p < 0.05$, not shown). The pair-wise tests showed that winter did not have significant differences with autumn, neither with spring ($p > 0.05$, not shown).

The spatial differences in the phytoplankton community were mainly explained by the following (Fig. 3): station 7, where the higher water transparency, salinity and pH were recorded (B), had a significant contribution of dinoflagellates (e.g. *Gyrodinium* spp., *Scrippsiella* group and athecate unidentified species) (A); the upstream stations (#1 and 3) were warmer, richer in nutrients and with higher turbidity (B), resulting in a high contribution of small flagellates (e.g. cryptophytes, euglenophytes, chlorophytes and others) (A). A significant contribution of diatoms also characterized the estuary: downstream with a great contribution of several chain-forming species (e.g. *Chaetoceros* spp. and *Guinardia delicatula*, and upstream mainly by pennate species (e.g. *Nitzschia* spp., *Gyrosigma/Pleurosigma* group and *Navicula* spp.) (Fig. 3A).

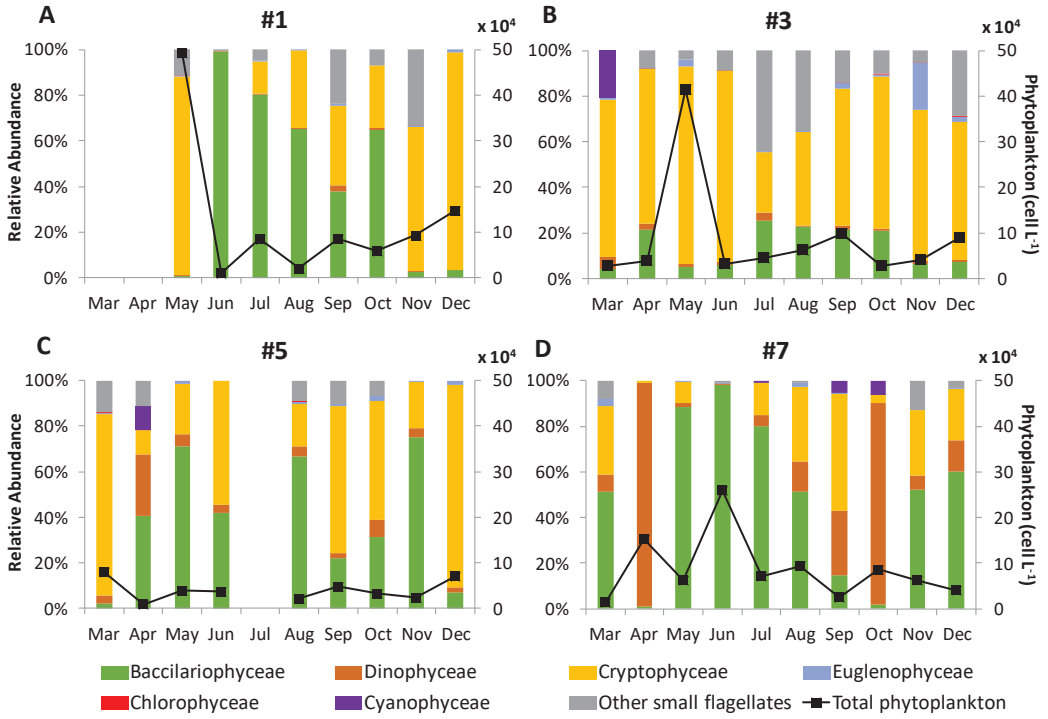


Fig. 2. Relative abundance of different phytoplankton groups (colored bars) and total concentration (x10⁴ cell L⁻¹) (dots with connecting line) obtained for each sampling month in the different study sites (see the legend figure for the phytoplankton groups color).

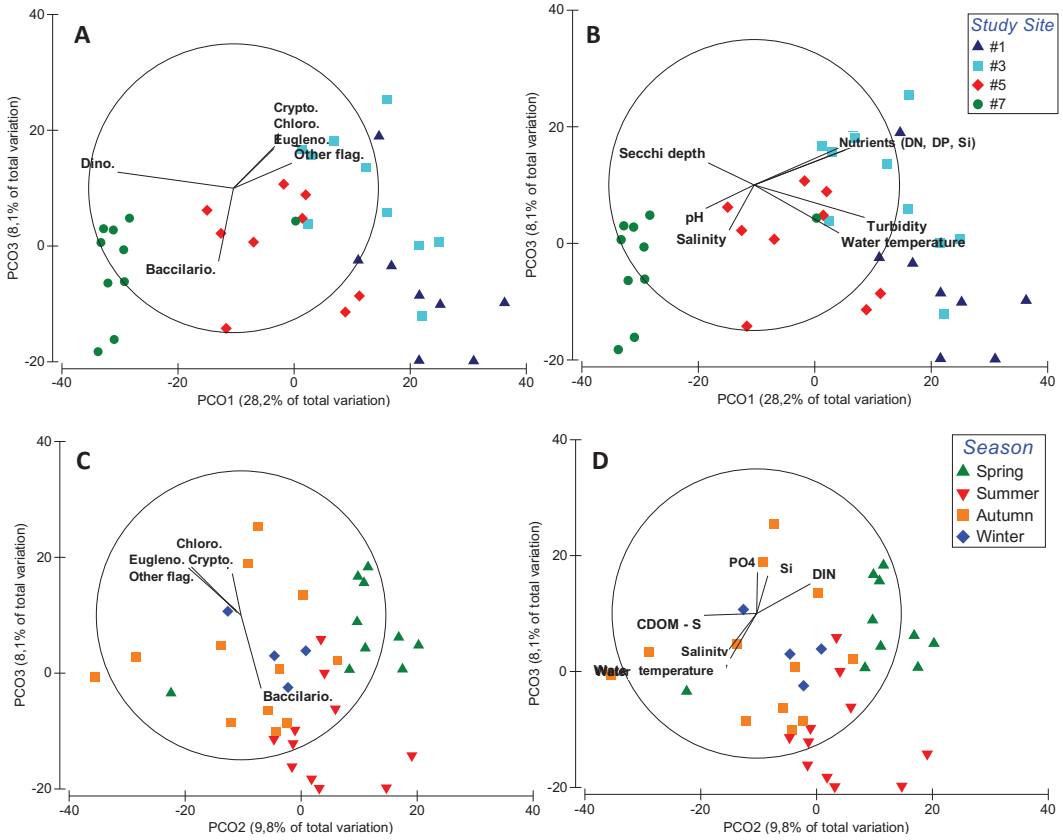


Fig. 3. Principal coordinates analysis (PCO) plots of phytoplankton structure between each study site (upper panel) and different seasons (lower panel). The left panel shows the taxonomic class level and the right panel shows the physico-chemical drivers.

At the taxonomic class level, the seasonal differences were not straightforward (Fig. 3C), and a more careful observation at a lower taxonomic level is needed (not shown). A mixed population of diatoms (mostly chain-forming species) and dinoflagellates (e.g. *Diplopsalis* and *Scrippsiella* groups, and *P. cordatum*) characterized spring. Summer and some of the autumn samples were mainly composed of pennate diatoms. Autumn had a high taxonomic variability, being characterized by a significant contribution of groups of small flagellates (e.g. chlorophytes, cryptophytes, euglenophytes), but also of small diatoms (e.g. *Skeletonema marinoi*) and dinoflagellates (unidentified species smaller than 15 µm, *Cochlodinium* spp. and the harmful species *Dinophysis caudata* and *G. catenatum*). Higher salinity and water temperature were recorded in summer and autumn, while high availability of nutrients characterized specially spring and some autumn samples (Fig. 3D). The CDOM was more significant during autumn associated with a period of increased rainfall, which suggests their utility for monitoring the influences of terrestrial inputs.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study showed that different phytoplankton communities characterized the Sado estuary in the 4-analyzed regions, as well as in spring, summer and autumn. Higher phytoplankton concentrations were recorded in the upstream regions where nutrients were available in higher concentrations, similar to the results of Coutinho (2003). As in previous studies (Coutinho, 2003; Sampayo, 1970), diatoms dominated over dinoflagellates. The well-mixed nature of this estuary is known to favor phytoplankton communities dominated by diatoms. Dinoflagellates dominance was sporadic and occurred mostly downstream, near the estuary mouth, associated with higher visibility and salinity levels. This pattern suggests that some near-coastal characteristics (e.g. thermal stratification, nutrient availability by coastal upwelling) could influence the local dinoflagellates community (e.g. spring *P. cordatum* bloom). In addition, some phytoplankton species could be transported from the adjoining coastal area into the estuary (e.g. autumn *G. catenatum* bloom).

The main difference observed in this study when compared with the previous ones was the prevalence of cryptophytes over diatoms in the upstream region. This may suggest that the presence all year round of a local fast-growing cryptophyte community is favored by the high availability of nutrients observed in this region of the estuary. It is important to understand if this pattern is only related to pulses of nutrients available from internal recycling mechanisms (specific or not for this year), or if it suggests the presence of a continuous input of nutrients from an outside source of the system. To evaluate accurately the current trophic status of the Sado estuary, a longer time-series is being analyzed.

Acknowledgements

This work was supported by the projects AQUASADO (MAR-02.01.91-FEAMP-0051), CRASSOREAB (MAR-02.01.01-FEAMP-0050), NEWCUMBER (MAR-02.01.91-FEAMP-0052) and NIPOGES (MAR-01.03.02-FEAMP-0013), funded by the Operational Program Mar2020, Portugal 2020 and EU EMFF. A.C. Brito was supported by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), through the Scientific Employment Stimulus Programme (CEECIND/0095 /2017). L. R. Favareto was funded by CNPq, National Council for Scientific and Technological Development Brazil (200589/2019-9). This study received additional support from FCT (UIDB/04292 /2020). The authors also acknowledge all colleagues from MARE and IH for fieldwork and lab support.

REFERENCES

Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R. (2008). *PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E: Plymouth, UK, 214 pp.

Brettum, P., Andersen, T. (2005). The Use of Phytoplankton as Indicators of Water Quality. *NIVA Rep. SNO 4818-2004*, 33 pp.

Cabrita, M. T., Brito, P., Caçador, I., & Duarte, B. (2020). Impacts of phytoplankton blooms on trace metal recycling and bioavailability during dredging events in the Sado estuary (Portugal). *Marine environmental research* 153, 104837.

Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)*. PRIMER-E: Plymouth, UK, 192 pp.

Coutinho, M.T.P. (2003). Comunidade fitoplânctónica de Estuário do Sado. Estrutura, Dinâmica e Aspectos Ecológicos. Dissertação para Investigador Auxiliar. *INIAP/IPIMAR*, 328 pp.

Oliveira, M.R., Coutinho, M.T.P. (1992). Estado trófico e dinâmica do fitoplâncton das zonas superior, média e inferior do Estuário do Sado. *Relatório Técnico Científico INIP*, 59, 34 pp.

Sampayo, M.A.M. (1970). Diatomáceas do Estuário do Sado. Estudo Qualitativo e Quantitativo; Variações sazonais. *Notas e Estudos do Instituto de Biologia Marítima*. 39, 104 pp.

Throndsen, J. (1978). Preservation and storage, *in*: A. Sournia (Ed.), *Phytoplankton Manual: Monographs on Oceanographic Methodology 6*. UNESCO, Paris, 69–74.

Utermöhl, H. (1958). Zur Ver vollkommung der quantitativen phytoplankton-methodik. *Mitteilung Internationale Vereinigung Fuer Theoretische unde Amgewandte Limnologie* 9, 1–38.

Phytoplankton Size Classes in Portuguese coastal waters

Favareto, L. R. (1); Tracana, A. (1); Ferreira, A. (1); Nascimento, A. (1); Fonseca, A. (1); Veloso, V. (1); Sá, C. (1,2,+); Gomes, M. (1); Palma, C. (3); Rudorff, N. M. (4); Brotas (1), V.; Brito, A.C. (1)

(1) MARE - Marine and Environmental Sciences Centre Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa, Portugal. e-mail: lrfavareto@fc.ul.pt

(2) CIMA – Centre for Marine and Environmental Research, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus Universitário de Gambelas, 8005-139, Faro, Portugal.

(3) IH - Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1200-677, Lisbon, Portugal.

(4) INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Brazil, Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, Cachoeira Paulista - SP, 12630-000, Brazil.

+ currently at Portugal Space

Abstract: Phytoplankton are the basis of most food-chains in the ocean. They comprise different shapes and sizes, having different impacts on the biogeochemical cycles. The development of models for Phytoplankton Size Classes (PSC) is based mainly on the empirical relationship between marker pigments and chlorophyll-*a*. The present study sought to investigate the spatial variability of PSC along the Portuguese coast and to understand its distribution in relation to concerning environmental conditions. For this purpose, *in-situ* data were obtained in October 2018, under the framework of AQUIMAR project. Results indicate that microphytoplankton were mainly observed near coastal regions and river mouths, where nutrients concentrations were higher. An opposite distribution was observed for the picophytoplankton classes, mostly occupying *offshore* areas. In terms of nutrient distribution, the southern region of Portugal was characterised by the lowest nutrient concentrations, in contrast to the northern region areas.

Keywords: coastal waters, high-performance liquid chromatography (HPLC), nutrients, physico-chemical parameters, phytoplankton size classes, Portugal.

1. INTRODUCTION

Phytoplankton pigments, as obtained by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), can provide relevant information on the characterization of phytoplankton assemblages both in terms of taxonomic classification (i.e. in general groups) and size classes, as some pigments are characteristic of specific groups (or size classes). The chlorophyll-*a* (Chl*a*), used as a proxy of phytoplankton biomass, is an ubiquitous and dominant pigment, however, several biomarker pigments (e.g. carotenoids, phycobiliproteins and chlorophylls) can be associated to a specific phytoplankton group and associated with specific size-classes (Vidussi et al. 2001 refined by Uitz et al., 2006). The method described in Uitz et al. (2006) and evaluated in Brewin et al. (2010), uses these diagnostic pigments to obtain the Phytoplankton Size Classes (PSC) fractions from the overall biomass: pico- (0.2–2 µm), nano- (2–20 µm), and micro-phytoplankton (20–200 µm) (Sieburth et al., 1978).

However, the uncertainties related to the pigment-based size-class assignment must be taken into account (Roy et al. 2011). The pigment content in the phytoplankton cells can undergo modifications due to the changes in environmental conditions which are essential for phytoplanktonic growth (e.g. nutrients, light, and temperature). In fact, these environmental changes may lead to occasional or long-term variations in the composition of the phytoplankton communities with potential losses of biodiversity and changes in the trophic structure and function of marine ecosystems (Moisan et al., 2012).

The coastal upwelling events influence the dynamics of marine primary producers by transporting dissolved nutrients from the subsurface to surface waters (Sverdrup, 1953). Along the Portuguese coast, the wind-induced upwelling is a seasonal recurring process with high variability in the intensity mostly in the northern part of the Western Iberian Coast (WIC) (Bode et al. 2019, Valente et al. 2019). These events start in the spring and extend until the beginning of autumn with greater intensity in the summer. Leitão et al. (2019) pointed to an intensification of these events also during the autumn months in the last decades, as well as high variability in chlorophyll concentrations. However, the complexity of interactions in the coastal areas, also with continental nutrient inputs can, in some cases, affect the phytoplankton more than the coastal upwelling (Bode et al., 2019; Ferreira et al., 2019).

The present study sought to investigate the spatial variability of PSC, namely the pico, nano and

microphytoplankton along the Portuguese coast, in relation to the environmental conditions.

2. METHODS

Surface water samples (n = 196) for phytoplankton analysis, pH, dissolved oxygen (DO) and nutrients were collected from October 5 to 26, 2018 at five different areas along the Portuguese coast (Figure 1, areas A, B, C, D and E), under the framework of the AQUIMAR project. The analysis of nutrients, namely nitrite (N), ammonium (Am), reactive phosphorus (P), dissolved inorganic nitrogen (DIN, nitrate + nitrite + ammonium) and reactive silica (S) were conducted in the Instituto Hidrográfico (Skalar method described in Borges, 2014).

Daily data of sea surface temperature (SST, Global 1 km - G1SST) were obtained from the Physical Oceanography Distributed Active Archive Center of the Jet Propulsion Laboratory (PO.DAAC) of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) (JPL OurOcean Project, 2010). The distance from the sample station to the coastline (Coastal Distance, CD) was also obtained.

The methodologies reported in Zapata et al. (2000) and adapted by Mendes et al., (2007) were used to determine phytoplankton pigments through HPLC. The coeficients provided in Brewin et al. (2010) were used to obtain the PSC. The methods described in Uitz et al. (2006) were applied considering for the micro-sized class the sum of concentrations ($mg \cdot m^{-3}$) of the pigments fucoxanthin (Fuco) and peridinin (Perid); for the nano the 19´Hexanoyloxyfucoxantin (Hex) 19′Butanoyloxyfucoxanthin (But) and alloxanthin (Allo); and for the pico the chlorophyll-*b* (Chlb) and zeaxanthin (Zea). The total chlorophyll-*a* (TChl*a*) concentration was determined by the sum of chlorophyllide-*a*, divinyl chlorophyll-*a* (DvChl*a*) and chlorophyll-*a* (Chl*a*, allomer + epimer).

A multivariate Canonical Correspondence Analysis (CCA) was applied using Past software version 4. The different sampled areas were represented by different ellipses (95 % confidence) and colored symbols. The total variation of the PSC groups (pico, nano, and micro) were analised in relation to the variables (green lines) P, DIN, S, pH, SST and CD.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The northern region (areas A and B) registered the lowest mean values of SST of the entire sampled area of the WIC (Figure 1, Table I). Nitrite, DIN, Am and P concentrations were also more higher in area A. These results can be associated to the intensification of the upwelling event as observed in the SST during the sampling campaign in area A (Figure 1, e.g. SST image of the day 21/10) and, to a lesser extent, due to the weakening of that event, in area B (Figure 1, e.g. SST image of the day 25/10). Concerning the remaining sampled regions, higher values of SST were associated with specific situations, such as river plumes and recirculation. The DO, pH and reactive silica concentration were similar in all areas.

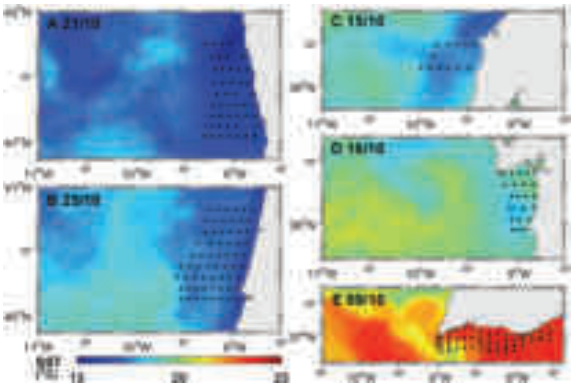


Fig. 1. Sea surface temperature (SST, JPL OurOcean Project, 2010) in sampling areas. The images were selected to illustrate the SST oceanographic characteristics that occurred during sampling.

Table I. Average and standard deviation of the parameters: CD, SST, pH, DO, N, DIN, Am, P and S; and the pigments: total chlorophyll-a (TChla), fucoxanthin (Fuco), peridinin (Perid), 19´Hexanoyloxyfucoxantin (Hex), 19'Butanoyloxyfucoxanthin (But), alloxanthin (Allo), chlorophyll-b (Chlb) and zeaxanthin (Zea).

Parameters	A	B	C	D	E
Stations (total)	46	63	12	22	53
CD (Km)	23.8 ±12.8	29.6 ±15.5	26.9 ±15.3	10.2 ±6.7	14.2 ±8.2
SST (°C)	16.8 ±0.4	17.4 ±0.3	18.2 ±0.2	19.0 ±0.5	23.0 ±0.4
pH	8.04 ±0.06	8.10 ±0.03	7.41 ±2.33	7.37 ±2.39	7.97 ±1.12
DO (mg/L)	7.61 ±0.68	7.86 ±0.56	7.17 ±2.29	7.14 ±2.34	7.15 ±1.13
N (µmol/L)	0.17 ±0.16	0.02 ±0.06	0.04 ±0.11	0.02 ±0.07	0.02 ±0.06
DIN (µmol/L)	1.44 ±1.46	0.49 ±0.66	0.61 ±1.45	0.43 ±0.57	0.83 ±1.40
Am (µmol/L)	0.18 ±0.47	0.04 ±0.20	<1,0 ±0.00	0.07 ±0.32	0.06 ±0.29
P (µmol/L)	0.45 ±0.19	0.05 ±0.10	0.05 ±0.09	0.15 ±0.18	0.17 ±0.32
S (µmol/L)	2.58 ±2.43	2.20 ±1.66	2.78 ±1.95	1.97 ±0.83	2.68 ±2.02
Pigments ($mg.m^{-3}$)	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Tchla	1.729 ±1.04	0.908 ±0.70	0.832 ±0.41	0.523 ±0.34	0.253 ±0.19
Fuco	0.232 ±0.23	0.099 ±0.12	0.078 ±0.03	0.049 ±0.03	0.033 ±0.05
Perid	0.300 ±0.29	0.146 ±0.20	0.123 ±0.09	0.098 ±0.13	0.011 ±0.01
Hex	0.129 ±0.06	0.096 ±0.08	0.118 ±0.06	0.076 ±0.03	0.042 ±0.02
But	0.163 ±0.12	0.032 ±0.02	0.042 ±0.02	0.030 ±0.01	0.017 ±0.01
Allo	0.051 ±0.03	0.021 ±0.02	0.034 ±0.01	0.009 ±0.01	0.004 ±0.01
Chlb	0.308 ±0.17	0.17 ±0.15	0.12 ±0.05	0.06 ±0.03	0.042 ±0.06
Zea	0.077 ±0.05	0.114 ±0.07	0.077 ±0.04	0.053 ±0.01	0.077 ±0.03

The TChl*a* and nearly all pigments (Table I) presented higher concentrations in the Northern regions (e.g. A and B) associated with the upwelling event, and decreasing gradually towards the south. In most of the areas (except in area E) the most representative averaged pigment concentrations were attributed to the Per and Fuco. This can be indicative of the presence of dinoflagellates and diatoms, denoting a prevalence of the micro-size fraction (Roy et. al., 2011). In general, this groups alternated their dominance in terms of pigment concentrations. In the coastal regions, under the influence of upwelling events and riverine outflows, diatoms and dinoflagellates generallly dominated the phytoplankton assemblage. The CCA (Figure 2, Axis 1 = 98.96% of the total variation of the PSC groups vs. variables) indicates that coastal areas and areas adjacent to river mouths show positive correlations between the micro fraction of phytoplankton and nutrient concentrations (e.g. DIN and S).

However, in the present study, the Chl*b* associated with the smaller phytoplankton (pico e.g.

Chlorophytes) showed a high contribution in the areas A and B, and also had an important contribution in the area C. Prymnesiophytes (Hex) and Pelagophytes (But) are more representative in area A.

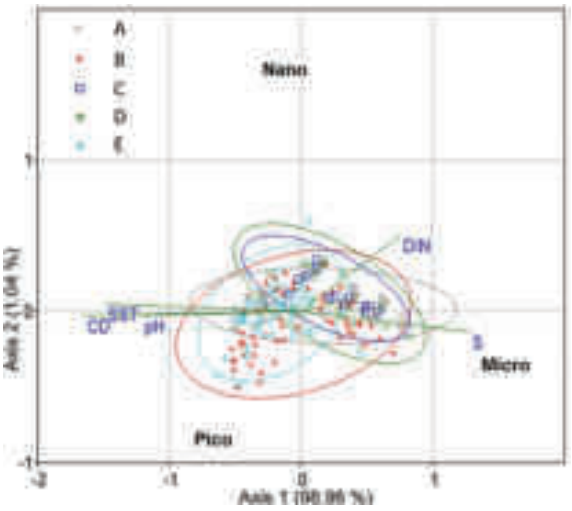


Fig. 2. Canonical Correspondence Analysis (CCA) for the nano, pico and micro-phytoplankton with the parameters (green lines) of P, DIN, S, pH, SST and CD. The color of the ellipses and symbols corresponds to area A in gray, area B in red, area C in dark blue, area D in green, and area E in light blue.

The pico fraction was positively correlated with the pH, CD and SST, being more dominant at the *offshore* stations (Figure 2). Pico was therefore negatively correlated with the micro fraction. While the nano fraction was associated with the transition zones, the micro and pico fractions were associated with areas with oposing environmental characteristics.

In the area E, where the lowest concentrations of pigments occurred, Zea was the most representative pigment. In terms of absolute values, the highest average concentration of Zea was found in area B, which may be related to the influence of oceanic waters through the weakening of the upwelling event. A significant relationship between zeaxanthin and cyanobacterial was found in the Ria de Vigo by Rodríguez et al., (2006), confirming this as a diagnostic pigment for picoplankton (Vidussi et al. 2001, Barlow et al. 2004). These authors also reported that the dominance of this group (together with pelagophytes) was associated with conditions of downwelling and stratified Iberian Poleward Current (IPC) between October and November (Rodríguez et al., 2006).

The ellipses of the CCA (Figure 2) show that the areas A and E seem to be the most distinct, areas C and D the most similar while area B shows the greatest variations. Most of the stations were classified as mixed size classes (51.5%), found mainly in areas C (100%) and D (82%). This shows that the water-column mixing and turbulence in the upper layer induced by seasonal upwelling, mainly in the northern WIC (area A) directly contributes to a substantial seasonal increase in the micro community and, to a lesser extent, of the nano fraction in areas C and D (Claustre et al., 2005). The second dominant size class was pico (30%), found mainly in areas B (40%) and E (49%), generally located in offshore waters. Throughout the seasonal cycle, pico-cyanobacteria and nanoflagellates, typically haptophytes and chlorophytes (Rodríguez et al., 2003), may be responsible for a significant fraction of productivity and biomass in coastal regions (Tilstone et al., 2003).

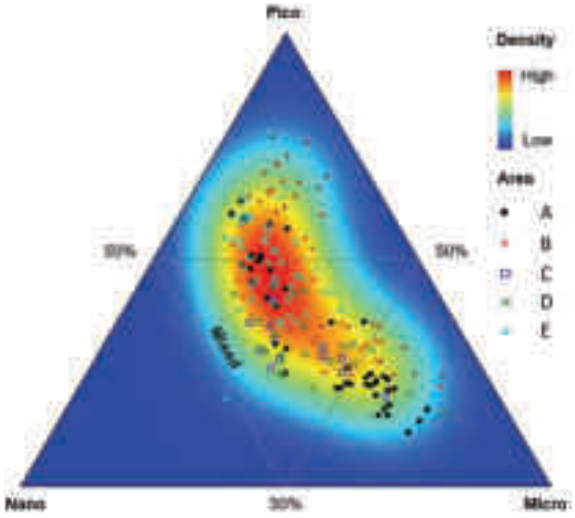


Fig. 3. Triangular diagram between the pico, nano and micro with the density of stations (high to low). The dominance were attributed to each size-class pico, nano and micro, whenever its fraction was >50%. If none of the classes were >50%, the sample was classified as mixed. The color of the symbols corresponds to area A in black, area B in red, area C in dark blue, area D in green, and area E in light blue.

4. CONCLUSIONS

The results reveal that the variations in the hydrography and nutrient inputs were intrinsically linked to changes in the phytoplankton size classes. For instance, this is supported by the positive relationship found between the micro sized phytoplankton and nutrients and TChl*a*. The high values of TChl*a* and Fuco suggests the existence of a diatom bloom in the northern region. The nanophytoplankton had a nonspecific distribution and with higher contribuitions in transition zones, while picophytoplankton dominated in *offshore* waters. The results obtained corroborate with previous findings described by Brito et al. (2012), Sá (2013) and Uitz et al. (2006) which claim that the groups with larger cells have been associated with eutrophic and coastal environments, while small phytoplankton prevails in oligotrophic areas generally more distant from the coast.

Acknowledgements

The authors acknowledge the teams of the Instituto Hidrográfico, MARE, Portuguese Navy of the NRP Almirante Gago Coutinho, and funding projects of this research mentioned below. The AQUIMAR (MAR-02-01-01-FEAMP-0107) and AQUASADO (MAR–02.01.01–FEAMP-0051) project were funded by MAR2020 Programme. This work also benefited from data collected and made freely available by the

Infrastructure CoastNet (http://geoportal.coastnet.pt). This project was supported by (PINFRA/22128/2016), funded by Foundation for Science and Technology (FCT) and the European Regional Development Fund (FEDER), through LISBOA2020 and ALENTEJO2020 regional operational programmes, in the framework of the National Roadmap of Research Infrastructures of strategic relevance. L.R. Favareto was funded by CNPq, National Council for Scientific and Technological Development Brazil (200589/2019-9). A.C. Brito was funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia(FCT) Scientific Stimulus Programme (CEECIND/00095/2017). This study also received further support from FCT, through the strategic project (UID/MAR/04292/2019) granted to MARE.

REFERENCES

Barlow, R., et al. (2004). Pigment adaptations in surface phytoplankton along the eastern boundary of the Atlantic Ocean. Marine Ecology Progress Series, 281, 13–26.

Bode, A., et al. (2019). Changes in phytoplankton production and upwelling intensity off A Coruña (NW Spain) for the last 28 years. Ocean Dynamics, 69(7), 861–873.

Borges, C. (2014). Preservação de amostras para análise de Nutrientes. Relatório Técnico Final REL. TF.QP 03/14, Abril 2014, IH.

Brito, A. C., et al. (2012). Defining phytoplankton class boundaries in Portuguese transitional waters: An evaluation of the ecological quality status according to the Water Framework Directive. Ecological Indicators, 19, 5–14.

Brewin, R. J. W., et al. (2010). A three-component model of phytoplankton size class for the Atlantic Ocean. Ecological Modelling, 221(11),1472–1483.

Claustre, H. (2005). Toward a taxon-specific parameterization of bio-optical models of primary production: A case study in the North Atlantic. Journal of Geophysical Research, 110(C7).

Ferreira, A., Garrido-Amador, P., Brito, A. C. (2019). Disentangling Environmental Drivers of Phytoplankton Biomass off Western Iberia. Frontiers in Marine Science, 6.

Gibb, S., et al.(2000). Surface phytoplankton pigment distributions in the Atlantic Ocean: an assessment of basin scale variability between 50°N and 50°S. Progress in Oceanography, 45(3–4), 339–368.

JPL OurOcean Project. 2010. GHRSST Level 4 G1SST Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis. Ver. 1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2020-04-03]

Leitão, F., et al. (2019). A 60-Year Time Series Analyses of the Upwelling along the Portuguese Coast. Water, 11(6), 1285.

Mendes, C. R., Cartaxana, P., Brotas, V. (2007). HPLC determination of phytoplankton and microphytobenthos pigments: comparing resolution and sensitivity of a C18 and a C8 method. Limnology and Oceanography: Methods, 5(10), 363–370.

Moisan, T.A.; Sathyendranath, S.; Bouman, H.A. (2012). Ocean Color Remote Sensing of Phytoplankton Functional Types. In Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications. InTech, 322pp.

Riegman, R. (2001). Phytoplankton community structure derived from HPLC analysis of pigments in the Faroe-Shetland Channel during summer 1999: the distribution of taxonomic groups in relation to physical/chemical conditions in the photic zone. Journal of Plankton Research, 23(2), 191–205.

Rodríguez, F., et al. (2003). Temporal variation in phytoplankton assemblages and pigment composition at a fixed station of the Ría of Pontevedra (NW Spain). Estuarine, Coclaastal and Shelf Science, 58(3), 499–515.

Rodríguez, F., et al. (2006). Size-fractionated phytoplankton pigment groups in the NW Iberian upwelling system: impact of the Iberian Poleward Current. Marine Ecol. Progress Series, 323, 59–73.

Roy, S., et al. (2011). Phytoplankton pigments: Characterization and applications in oceanography. Cambridge University Press. 874pp.

Sá, C. G. V. (2013). Ocean colour off the portuguese coast:chlorophyll α products validation and applicability. Ph.D. Thesis. Universidade de Lisboa, 231 pp.

Sieburth, J. McN., Smetacek, V., Lenz, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions 1. Limnology and Oceanography, 23(6), 1256–1263.

Sverdrup, H. U. (1953). On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton. ICES Journal of Marine Science, 18(3), 287–295.

Tilstone, G., et al.(2003). Phytoplankton composition photosynthesis and primary production during different hydrographic conditions at the Northwest Iberian upwelling system. Marine Ecology Progress Series, 252, 89–104.

Uitz, J., et al. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. Journal of Geophysical Research, 111(C8).

Valente, A., Sousa, F., Dias, J. (2019). Decadal changes in temperature and salinity of Central Waters off Western Iberia. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 151, 103068.

Vidussi, F., et al.. (2001). Phytoplankton pigment distribution in relation to upper thermocline circulation in the eastern Mediterranean Sea during winter. Journal of Geophysical Research: Oceans, 106(C9), 19939–19956.

Zapata, M., Rodríguez, F., Garrido, J. (2000). Separation of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton:a new HPLC method using a reversed phase C8 column and pyridine-containing mobile phases. Marine Ecology Progress Series, 195, 29–45.

Variability of temperature and chlorophyll in the Sado Estuary: integration of *in situ* observations and satellite data

Biguino, B.[1,6]; Sousa, F.[1,2]; Sá, C.[1,3,+]; Cruz, J.[1]; Sent, G.[1]; Heumüller, J.[1]; Cereja, R.[1,4]; Gomes, M.[1]; Borges, C.[5]; Palma, C.[5]; Brito, A. C.[1]

[1] MARE - Marine and Environmental Sciences Centre, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal

[2] Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (DEGGE), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal

[3] CIMA-UAlgarve, Faro, Portugal

[4] IDL - Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal

[5] Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1200-677 Lisboa, Portugal

[6] fc46561@alunos.fc.ul.pt

[+] currently at Portugal Space

Abstract: Estuaries have complex dynamics. It is, therefore, important to integrate *in situ* observations (with frequent sampling, in depth and throughout the tidal cycle) with satellite data, to enable an extended temporal and spatial analysis of these systems. Following that objective, sampling was conducted within the scope of the AQUASADO project, to collect temperature and chlorophyll data. Results showed that the outermost area of the estuary was spatially homogeneous, with occasional low stratification. *In situ* temperature and chlorophyll-*a* concentration allied with the acquisition of satellite data from the Group for High Resolution Sea Surface Temperature - Multiscale Ultrahigh Resolution and Sentinel-3 OLCI, allowed the validation of these products. GHRSST MUR, for temperature, presented a good agreement with *in situ* data, but poor spatial resolution. Sentinel-3 OLCI, for chlorophyll-*a*, allowed assessing spatial patterns in the estuary.

Key words: Chlorophyll-*a*, estuaries, remote sensing, temperature, water circulation.

1. INTRODUCTION

Estuaries are recognized worldwide as ecologically important and efforts should be made to preserve them. This can only be achieved through a fully understanding of their dynamics. However, studying estuaries can present numerous challenges. In addition to anthropogenic pressure, to which they are subjected, estuaries have strong interactions with the atmosphere, leading to a seasonal variation in the physicochemical parameters of the water. Additionally, the daily mixing of fresh water, coming from the river, with salt-water, which enters through the mouth of the estuary, promotes a constant variation of these parameters and influences the biological component of the region (Mateus *et al.*, 2008). Therefore, in their nature, estuaries have complex and spatially heterogeneous conditions (Chi and Fu, 2018).

In order to obtain an extended temporal and spatial analysis, the variability of temperature and chlorophyll-*a* in Sado estuary were analyzed integrating *in situ* observations and satellite data.

2. DATA AND METHODOLOGY

The Sado estuary is the second largest estuary in Portugal and one of the largest in Europe (Figure 1).

In situ observations performed in the estuary were used to study the variation of the temperature and chlorophyll-*a*, seasonally and over the tidal cycle. With the integration of the satellite products, an interannual analysis was also performed.

2.1. In situ observations

The observation strategy consisted in monthly sampling and intense campaigns during partial and full tidal cycles. Eight stations (stns.) distributed along the Sado estuary were sampled (Figure 1). In the campaigns, conducted between MAY 2018 and SEP 2019, the following equipment was used: i) a NXIC (Non-eXternal Inductive Conductivity) CTD for conductivity, temperature and depth, from the former Falmouth Scientific Inc. – FSI (SEP 2018 - JUL 2019 in stns. #6, #7 and #8); ii) an EXO2

Multiparameter Sonde (from YSI) for water quality analysis (MAY 2018 - SEP 2019 in all stations); and iii) a Doppler Current Sensor (4100, from Aanderaa, Norway) for current intensity and direction measurements (SEP 2018 - SEP 2019 in stns. #6, #7 and #8). From now on, for simplicity, MS and CS will be used for the multiparameter sonde and the current meter sensor, respectively.

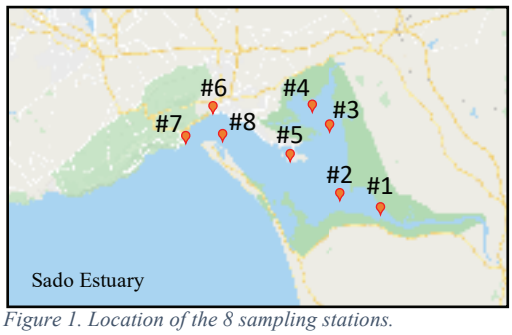


Figure 1. Location of the 8 sampling stations.

During the monthly campaigns, water samples were also collected for quantification of chlorophyll-*a* through pigment analysis with High Performance Liquid Chromatography.

2.2. Satellite data

2.2.1. Satellite-derived Sea Surface Temperature

The Sea Surface Temperature (SST) dataset was gathered from the Global Ocean Data Assimilation Experiment (**G**ODAE) **H**igh-**R**esolution **SST** **P**ilot **P**roject (GHRSST-PP). The version 4.1 was chosen from the Multiscale Ultrahigh Resolution (MUR) product, based upon nighttime GHRSST L2 sea surface and subsurface temperature data, collected by various instruments (Level 4 images). For this study, the temporal series used encompassed daily images with a spatial resolution of 1 km, from 01JUN2002 to 30SEP2019.

All the available images were processed with the satellite data processing and analysis program SNAP - Sentinel Application Platform (version 7.0). With this software, the SST information of each one of the images was automatically extracted for the *in situ* stations, using the mean value of a 3x3 grid (3 km x 3 km) centered in the pixel with the same location as the *in situ* station. The validation exercise involved a statistical assessment. It was used the bias error (δ) to evaluate the accuracy, the mean Relative Percentage Difference (RPD) and the mean Absolute Percentage Difference (APD), calculated according to equations 1, 2 and 3, respectively. N is the total number of samples, *i* is the sample index and Sat refers to the satellite data.

$$\delta = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}([Sat]_i - [in\ situ]_i) \quad [1]$$

$$RPD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{[Sat]_i - [in\ situ]_i}{[in\ situ]_i} \times 100 \quad [2]$$

$$APD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|[Sat]_i - [in\ situ]_i|}{[in\ situ]_i} \times 100 \quad [3]$$

2.2.2. Satellite-derived Chlorophyll-a

In order to analyze the estuary in terms of chlorophyll-*a* distribution, and validate the products with *in situ* observations, data from the Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) were used. Besides the images obtained on the days when the *in situ* campaigns took place, images obtained during the whole year of 2018 were also used, to allow a more robust seasonal analysis using this product. The images have a spatial resolution of ≈ 300 m and a temporal revisit time of 2 to 3 days. The Neural Net algorithm product was used for chlorophyll-*a* retrieval, since it was developed for application in complex waters (coastal waters).

For the long-term analysis, the precursor of OLCI, MERIS, was selected. The bio-optical algorithm applied to MERIS data was OC5, developed for application to coastal waters (Gohin *et al*., 2002).

All the images available were also processed with SNAP, using the same technique as the one applied to SST data (mean value of a 3x3 grid (900 m x 900 m) centered in the pixel of the station). The OLCI images available for validation, were filtered following the information of the specific product flags, considering only the pixels with values of greater confidence (EUMETSAT, 2019). The statistical analysis of the validation exercises was made according to equations 1, 2 and 3.

3. RESULTS

Mean temperatures were computed for the outermost region of the estuary (stns. #6, #7 and #8) based on *in situ* CTD observations. The temperature presented a clear seasonal behavior, showing a thermal amplitude of ≈ 5.0ºC. In the summer, the average temperature was 19.0ºC and, during the winter, 13.8ºC. The water column seemed to be well mixed with no relevant variations along the tidal cycle.

The relations between SST obtained with satellite data and with *in situ* observations are presented in Figure 2. The best correlations were

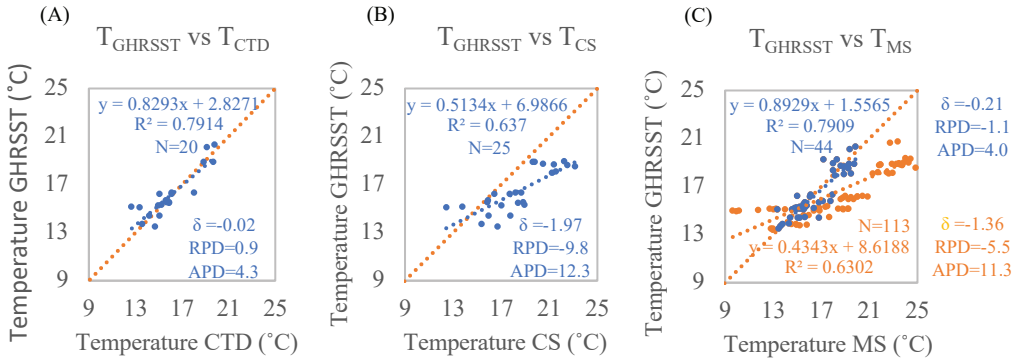


Figure 2. Correlation between the satellite sea surface temperature (GHRSST) and the surface temperature obtained with in situ observations: CTD (A), CS (B) and MS (C) only for the stations located in the outermost area of the estuary (stns. #6, #7 and #8) in blue. The whole set of stations is represented in orange.

obtained when SST satellite data (GHRSST) was compared with the temperature values measured either with the CTD (R^2=0.7914) or with the MS (R^2=0.7909), considering only the stations located in the outermost area of the estuary (in blue in Figure 2). An overestimation of the temperature values measured by the CS was observed. With such a good agreement among the temperatures, a seasonal evaluation of the SST in the Sado estuary was made, based only on satellite data. As expected, summer and winter had the highest and lowest SST values, respectively. The GHRSST images showed an SST variation between the inner and outer areas of the estuary, with a small thermal amplitude.

The interannual analysis presented in Figure 3 showed that the annual temperatures inside the estuary ranged between 16ºC and 18ºC, being, usually, close to 17ºC, between 2003 and 2018. The years with higher values of SST were 2006, 2010 and 2011, in opposition to 2008 and 2012.

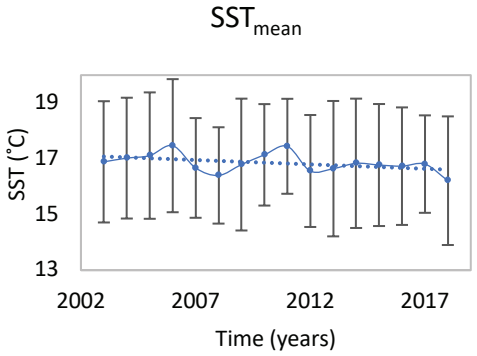


Figure 3. Annual SST values for the whole estuary, in the period 2003-2018.

Concerning the chlorophyll-*a*, OLCI data were validated in order to understand the viability of its use in actual studies and to be able to characterize the chlorophyll-*a* distribution along the whole estuary. Therefore, satellite-derived chlorophyll-*a* concentrations (Chl*a* NN) were compared with *in situ* values (Chl*a* *in situ*). A low relationship (R^2=0.3274) between the two datasets was obtained (Figure 4). There seems to be a tendency to an overestimation of the concentrations derived from the satellite, when compared with the *in situ* data (positive δ). In order to investigate this weak relationship between the chlorophyll-*a* values, the correlation between satellite-derived chlorophyll-*a* and the *in situ* Suspended Particulate Matter (SPM) was evaluated. In fact, a relation between these two parameters was observed: when the difference between the chlorophyll-*a* values was higher, higher SPM values were also observed (data not shown). This is a preliminary indication that SPM presence might be compromising the chlorophyll-*a* estimation from satellite in this region, and/or that the NN algorithm has not been trained with the necessary dataset to account for the optical properties of the estuary.

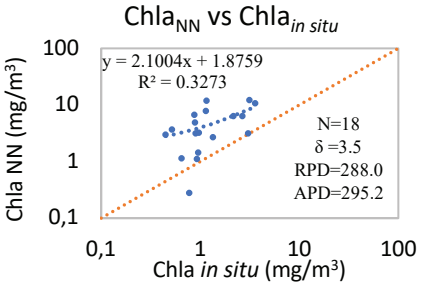


Figure 4. Correlation between chlorophyll-a concentrations obtained with satellite data and with in situ observations.

The seasonal analysis made with OLCI data for the year 2018, revealed higher chlorophyll-*a* values in spring. A spatial differentiation between the innermost and outermost stations became evident, with higher values in the inner channels of the estuary. The same seasonal analysis was made with MERIS, for the period 2002-2012. The seasonal variability obtained with MERIS-OC5 showed no reliable results, once they were different from the ones coming from previous studies and from OLCI data.

Between temperature and chlorophyll-*a* no relation was observed.

4. DISCUSSION

Based on the temperature, the outermost area of the estuary can be described as spatially homogeneous (Ambar *et al.*, 1982). The same spatial homogeneity was observed in the analysis of GHRSST MUR product, which included data from the whole set of stations distributed along the estuary. However, satellite data presented more reliable results for the outermost region of the estuary. This can probably be justified by the sensor's low spatial resolution or even due to the greater spatial variation occurring in the innermost areas of the estuary where the water columns are very thin (Loisel *et al.*, 2012). Nevertheless, the sensor proved to be sensitive to seasonal variations in the whole estuary.

The satellite-derived chlorophyll-*a* distribution data (OLCI imagery) showed that the estuary cannot be considered spatially homogeneous. Although the agreement between OLCI data and *in situ* observations was low, the two approaches showed that the most interior region of the estuary is characterized by higher chlorophyll-*a* concentrations, and the higher values occurred during spring. According to Abbas *et al.* (2019), the validation exercises of chlorophyll-*a* data in shallow waters are often ineffective, and this is mainly due to the algorithms used. However, improvements can be achieved if regional solutions are considered when application requirements are not fulfilled by the accuracy of standard products, *i.e.* using coastal products and regionalized models developed with *in situ* chlorophyll-*a* and concomitant radiometric data (Sá *et al.*, 2015).

5. CONCLUSIONS

Based on *in situ* temperature measurements, the outermost area of the estuary can be described as spatially homogeneous, with low stratification of the water column. The spatial homogeneity was also observed with the satellite-derived SST but not with the OLCI chlorophyll-*a* data, where higher values were observed in the inner part of the estuary.

The GHRSST dataset seems to be acceptable for a thorough temporal analysis of the temperature distribution in the estuary, especially in its outermost part. On the other hand, the quantification of chlorophyll-*a* in shallow and coastal waters using satellite remote sensing is still a challenge. However, based on the results of this work, there is the indication of an improvement in the quality and accuracy of the products generated over the last years.

Acknowledgments

This work was developed in the frame of the project AQUASADO (MAR-02.01.91-FEAMP-0051REF) funded by the Operational Program Mar2020. A.C. Brito was supported by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), through the Scientific Employment Stimulus Programme (CEECIND/0095/2017). The authors also wish to acknowledge all colleagues from MARE and IH for fieldwork and lab support.

REFERENCES

Abbas, M., Melesse, A., Scinto, L. and Rehage, J. (2019). Satellite Estimation of Chlorophyll-a Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Sensor in Shallow Coastal Water Bodies: Validation and Improvement. *Water* 11(1621).

Ambar, I., Fiúza, A., Sousa, F. and Lourenço, I. (1982). General Circulation in Lower Sado River Estuary under Drought Conditions. *In* Actual Problems of Oceanography in Portugal, 97-107, JNICT, Lisboa.

Chi, Y. and Fu, Z. (2018). Spatial heterogeneity of estuarine wetland ecosystem health influenced by complex natural and anthropogenic factors. *Science of The Total Environment* 634: 1445-1462.

EUMETSAT (2019). Recommendations for Sentinel-3 OLCI Ocean Colour product validations in comparison with in situ measurements. EUM/SEN3/DOC/19/1092968.

Gohin, F., Druon, J., and Lampert, L. (2002). A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. International Journal of Remote Sensing 23(8):1639–1661.

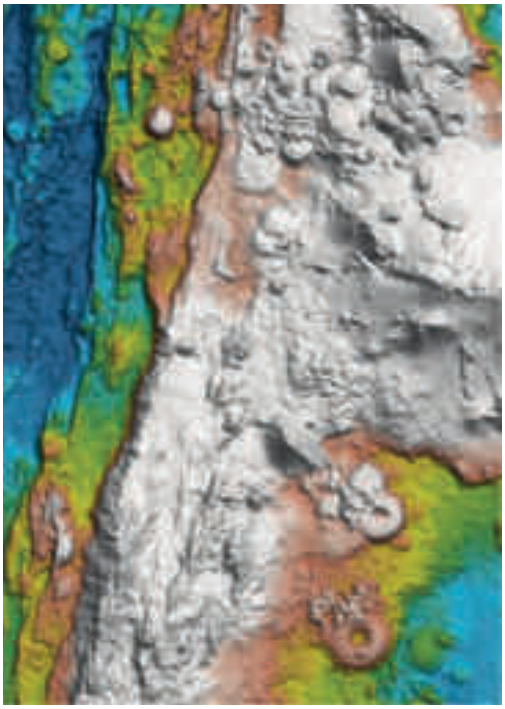
Loisel, H., Vantrepotte, V., Jamet, C. and Dat, D. (2012). Challenges and New Advances in Ocean Color Remote Sensing of Coastal Waters. *IntechOpen*.

Mateus, M., Mateus, S. and Baretta, J. (2008). Basic concepts of estuarine ecology. Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America. IST Press, pp.3-14.

Sá, C., D'Alimonte, D., Brito, A.C., Kajiyama, T., Mendes, C., Vitorino, J., Oliveira, P., Silva, J., Brotas, V. (2015). Validation of standard and alternative satellite ocean-color chlorophyll products off Western Iberia. *Remote Sensing of Environment* 168: 403-419.

GEOLOGIA MARINHA

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Evolução morfo-sedimentar da plataforma adjacente ao sistema fluvial do Tejo desde o Último Máximo Glaciário

Vinhas, A. (1); Rodrigues, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. andre.costa@hidrografico.pt

Resumo: O rio Tejo é um dos maiores rios ibéricos, desaguando no Atlântico na região de Lisboa. A cobertura sedimentar da plataforma continental adjacente ao estuário do Tejo reflete a sua influência, como fonte de partículas detríticas, assim como os efeitos da evolução dos sucessivos ciclos climáticos ocorridos neste sector atlântico deste o último máximo glaciário, com repercussões ao nível dos movimentos eustáticos. Recorrendo a um conjunto de perfis de reflexão sísmica de alta resolução do IH, adquiridos entre 2013 e 2017, é apresentado um modelo sismo-estratigráfico e evolutivo recente deste sector da margem continental desde o Último Máximo Glaciário.

Palavras-chave: perfis sísmicos, plataforma continental, variações eustáticas, Tejo.

1. INTRODUÇÃO e OBJETIVO

Desde os meados do século passado que a plataforma continental portuguesa tem sido objeto dos mais variados estudos, sobre a sua estrutura e caraterísticas geológicas, sendo de destacar os trabalhos de Boillot *et al.* (1974), Vanney e Mougenot (1981), Mougenot (1989), Dias (1987), Dias *et al*. (1997; 2000), e, mais recentemente, Noiva *et al*. (2014) e Terrinha *et al*. (2019). Nos trabalhos mais recentes são abordados alguns dos processos que afetam a cobertura sedimentar, nomeadamente os processos de deslizamentos submarinos ocorridos na zona da frente de delta do Tejo, assente sobre o sector da plataforma continental na região de Lisboa. Estes processos podem ser despoletados por processos internos ou como reflexo das alterações climáticas, de diferentes regimes de descarga estuarina e da evolução do nível médio do mar (NMM). De facto, as oscilações eustáticas que ocorreram desde o Último Máximo Glacial (UMG), há cerca de 20 000/18 000 anos, ilustram as variações climáticas, que afetaram o Atlântico Norte, e a evolução da Frente Polar, desde a sua posição mais meridional, como resultado da grande retenção de água nas calotes e glaciares de montanha (Ruddiman & McIntyre, 1981). Na plataforma continental portuguesa, os trabalhos realizados por Dias (1987) e sintetizados em Dias *et al.* (1997, 2000), permitiram estabelecer uma curva de variação do NMM no período pós-glaciário.

No setor da plataforma continental adjacente ao rio Tejo, um dos mais importantes da Península Ibérica, a morfologia bastante regular e pouco inclinada, está coberta por depósitos sedimentares, essencialmente terrígenos, de composição variável, conforme a distância ao estuário e à linha de costa. De acordo com as cartas sedimentológicas do programa SEPLAT (IH, 2005), na plataforma interna a média, os sedimentos são essencialmente arenosos (areias grosseiras a lodos arenosos litoclásticos); na plataforma média a externa encontram-se os lodos litoclásticos e, na zona mais externa, os sedimentos tornam-se ligeiramente mais grosseiros, variando entre os lodos arenosos e areias médias litoclásticos.

Em face desta diversidade sedimentar e da proximidade à principal fonte de partículas sedimentares terrígenas, define-se como objetivo deste trabalho a contribuição para: 1) a descrição sismo-estratigráfica da estrutura sedimentar da plataforma continental adjacente ao sistema de transição fluvio-marinho; 2) compreender o efeito das oscilações eustáticas, após o UMG na sua evolução.

2. METODOLOGIA

Foram processadas e interpretadas 49 linhas de reflexão sísmica monocanal de alta resolução (sistema *Boomer*), adquiridas pelo Instituto Hidrográfico entre 2013 e 2017, no sector da plataforma continental em estudo (Figura 1).

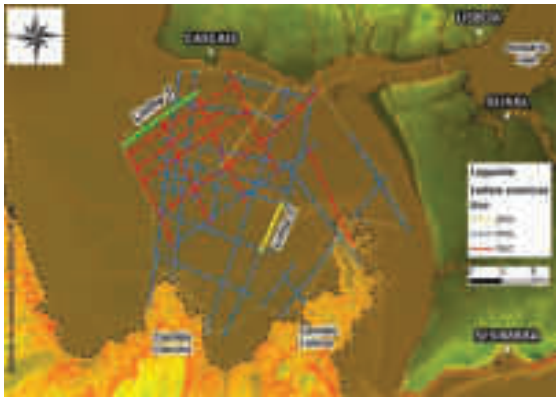


Fig.1. Localização da malha de linhas sísmicas utilizadas, adquiridas em 2013 (laranja), 2014 (azul) e 2017 (vermelho). Localização da linha 1 e 2 da figura 2. Batimetria adaptada de EMODnet (https://www.emodnet-bathymetry.eu/).

O processamento dos registos sísmicos foi realizado no *software Delph Seismic* da IXBLUE, com a aplicação de diversas correções (*layback*, *swell* e *stacking*), filtros passa-banda e ganhos do sinal. Para a interpretação sismo-estratigráfica foi seguida a metodologia expressa por Mitchum & Vail (1977).

3. RESULTADOS

A interpretação sismo-estratigráfica das linhas sísmicas permitiu identificar as três unidades sísmicas e três sub-unidades (mais recentes), que compõem a formação sedimentar recente, a qual se encontra assente sob um refletor de base de forte amplitude e expressão regional. Por ter sido identificado em todos os registos, este refletor foi interpretado como uma extensa superfície de erosão cuja génese estará associada a um evento máximo regressivo do NMM, o último dos quais ocorrido há cerca de 20 000 anos, quando esteve 120 a 140 m abaixo do nível médio atual e a frente polar se encontrava a latitudes mais a sul (Ruddiman & McIntyre, 1981). Esta origem é comprovada pela truncatura de todas as formações mais antigas deste setor da margem e fossilização sob a formação mais recente (depositada após o UMG). Estruturando a sequência sismo-estratigráfica na área em estudo, e apresentando-a, da base para o topo, tem-se a seguinte sequência (Figura 2):

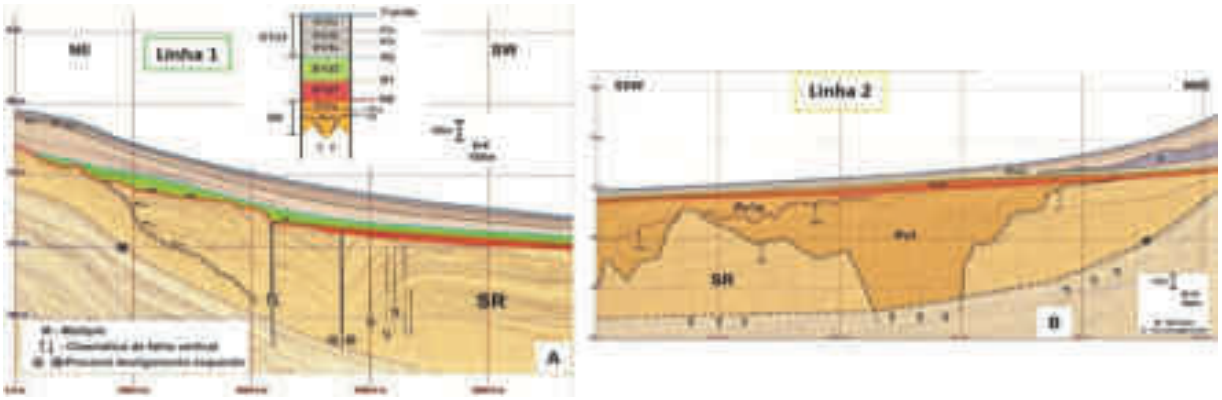


Fig.2. Interpretação sismo-estratigráfica da linha sísmica 1 (A) e linha sísmica 2 (B). Localização na figura 1.

A *unidade sísmica SR*, antiga e muito afetada por deformação dúctil e frágil, tem reflexões internas de amplitude média a baixa, sub-paralelas entre si, com boa continuidade e frequência variável conforme a localização. A NW da área, SR apresenta duas sub-unidades sísmicas distintas. Na base da unidade superficial observam-se terminações *onlap* contra uma discordância que limita a unidade mais antiga, de fácies caótica (Figura 2A).

A *unidade sísmica PV1* tem uma fácies sísmica com reflexões internas de baixa amplitude e continuidade, por vezes com geometria caótica/difusa. Na base, a unidade é delimitada pelo refletor D1, cujo reconhecimento, dados os seus atributos sísmicos, beneficiou do contraste acústico com a unidade sísmica SR. Nesta unidade foi individualizada, localmente, a *sub-unidade sísmica PV1a* que, muito semelhante a PV1, apresenta uma disposição geométrica das reflexões internas que sugerem a presença de um refletor de base (D1a) de fraca a muito fraca amplitude e forte irregularidade (Figura 2B).

Tal como mencionado acima, as duas unidades sísmicas descritas (SR e PV1), caracterizando o substrato mais antigo da área de estudo, são truncadas pelo *Refletor R0* que, igualmente, materializa a base da sequência sísmica mais recente. Este refletor, com boa amplitude e continuidade, tem uma disposição sub-horizontal, com exceção na zona junto ao delta do Tejo, onde aumenta de inclinação.

A sequência sísmica recente é iniciada, na base, pela *unidade sísmica S1U1* (Figura 2A), relativamente pouco espessa e com reflexões internas de baixa a média amplitude. Nas zonas mais costeiras, a unidade apresenta-se bastante difusa, por vezes com ténue transparência, enquanto que nos sectores intermédios, as reflexões internas são ligeiramente continuas, com disposição sub-paralela e sub-horizontal. Já na zona mais profunda, a fácies torna-se difusa a caótica.

A *unidade sísmica S1U2*, intermédia (Figura 2A), é delimitada na base pelo refletor R1 (diacrónico de R0 nalguns sectores), de baixa amplitude e boa continuidade. Na zona mais externa, a identificação de R1 nem sempre foi simples, devido à sua baixa amplitude. Em termos de fácies acústica, a unidade sísmica S1U2 apresenta reflexões internas de amplitude média a baixa, com boa continuidade e com geometria sub-paralela, apresentando terminações *toplap* contra R2 (refletor que delimita o topo desta unidade sísmica) e, nos setores proximais, *downlap* contra R1. Na zona mais distal, quando esta unidade está presente, as suas caraterísticas acústicas são mais difusas e as reflexões internas são pouco contínuas. A espessura da unidade S1U2 é variável, mas de forma geral, diminui com a profundidade, o que atesta o seu caráter detrítico com grande contributo de sedimentos continentais. Na frente deltaica do Tejo, a presença de reflexões parasitas (múltiplos), impossibilitou o correto reconhecimento desta unidade sísmica.

No topo da sequência sísmica, foi individualizada a *unidade sísmica S1U3*, depositada sobre o refletor R2 (amplitude média a baixa com boa continuidade lateral). As características acústicas desta unidade são bastante variáveis, sendo constituída por três sub-unidades sísmicas, S1U3a, S1U3b e S1U3c, da mais antiga para a mais recente (Figura 2A). A primeira, *sub-unidade sísmica S1U3a*, apresenta reflexões

internas de fraca amplitude, sub-paralelas entre si. Com espessura que pode chegar às dezenas de metros, esta sub-unidade está presente em toda a área estudada, sendo delimitada, no topo, pelo Refletor R2a. A unidade intermédia, a *sub-unidade sísmica S1U3b*, delimitada no topo pelo refletor R2b, tem reflexões internas de amplitude média a alta, com boa continuidade e sub-paralelas entre si. No sector do delta do Tejo, esta unidade tem uma geometria progradante que se torna sub-horizontal na zona mais externa da plataforma. A *sub-unidade sísmica S1U3c* é caraterizada por reflexões internas sub-paralelas entre si, com boa amplitude e continuidade. Nalguns sectores da plataforma, esta sub-unidade, delimitada no topo pelo refletor Fundo (elevada amplitude e continuidade), podendo atingir dezenas de metros de espessura. A unidade sísmica S1U3 apresenta algumas particularidades muito localizadas. A primeira diz respeito ao sinal refletido, cuja energia parece ser totalmente absorvida nalguns perfis sísmicos (Figura 3B). Este fenómeno denominado por *acoustic blanking* (Taylor, 1992) poderá ser provocado pela presença de uma fase gasosa nos fluidos intersticiais dos sedimentos tendo sido observado numa área de cerca 25 km^2 que se desenvolve para NW no delta do Tejo (Figura 3A). Esta característica acústica já tinha sido observada por Terrinha *et. al.* (2019). Uma outra particularidade da unidade sísmica S1U3 é a presença de uma sub-unidade interna de fácies sísmica bastante caótica (Figura 3C). Compreendida entre os 50 e 100 m de profundidade, na zona do sopé do delta do Tejo (Figura 3A), este corpo corresponde a um escorregamento submarino (Noiva *et al.,* 2014) que terá ocorrido há cerca de 8 000 anos atrás (Terrinha *et al.,* 2019).

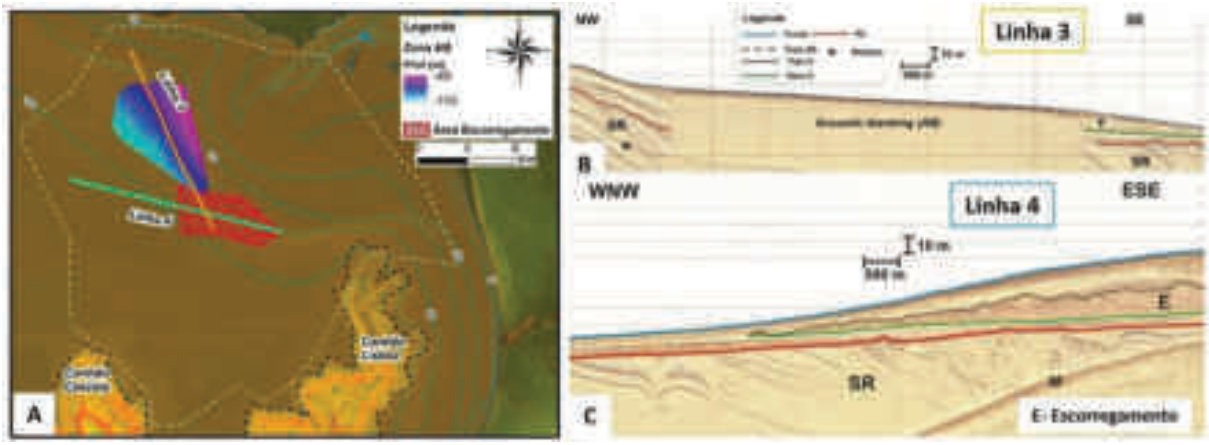


Fig.3. (A) Localização das áreas onde se identificou o ruído acústico (azul-violeta)) e o escorregamento submarino (vermelho). Interpretação sismo-estratigráfica das linhas sísmicas 3 e 4 (B e C. respetivamente).

4. DISCUSSÃO

De acordo com a descrição sismo-estratigráfica e o estilo de deformação observado, à sequência sísmica mais antiga (unidades sísmicas SR, PV1 e PV1a), é atribuída idades compreendidas entre o Miocénico (?) e Plio-Quaternário. A deformação observada em SR representa a expressão superficial de estruturas profundas herdadas, reativas no decorrer da orogenia alpina, cujo relevo mais expressivo na região é a cadeia da Arrábida. As formações PV1 e PV1a, encaixantes em SR, correspondem a preenchimentos sedimentares de paleovales plio-quaternários, nomeadamente da zona de transição do vale do Estoril para o canhão de Cascais, que funcionava como importante conduta de sedimentos do Tejo para as zonas mais profundas (Vanney e Mougenot, 1981)

O refletor R0, é de grande importância estratigráfica por ter uma origem relacionada com os processos de abrasão marinha e de erosão subaérea que atuaram sobre a plataforma continental no decorrer de fases de regressão do NMM, a última das quais terminou há cerca de 18 000 anos, quando o NMM se situava 120/140 m abaixo do nível atual (Dias *et al.*, 1997). Tendo como base os resultados obtidos no Programa CLIMAP (1976) e a curva de variação do NMM, publicada para a plataforma continental portuguesa (Dias *et al*., 2000), a evolução ambiental pós-glaciária, com as correspondentes oscilações eustáticas, compreendeu 4 fases: 3 fases de subida e uma fase de descida abrupta do NMM. Foi neste contexto que se depositaram as unidades sísmicas S1U1, S1U2 e S1U3 (Figura 4).

A primeira fase (deposição de S1U1) ocorreu entre os 18 000 e 16 000 anos, quando o NMM subiu desde os -120/-140 m até aos -100 m. Após 3 000 anos de estabilização do NMM, comprovados pela natureza abrasiva do refletor R1, o NMM voltou a subir cerca de 60 m em 2 000 anos, atingindo os -40 m há 11 000 anos. A unidade sísmica S1U2 representa a formação sedimentar depositada durante esta segunda subida do NMM, interrompida por uma fase regressiva, coincidente com o Dryas Recente, e que causou a descida abrupta do NMM, em cerca de 20 m (em 1000 anos). Este episódio será materializado pelo refletor R2. A última fase evolutiva, de subida do NMM, desde os -60 m (há 10 000 anos) até ao nível atual, coincide com o Holocénico e permitiu a formação da unidade S1U3. Neste último intervalo, a taxa de subida do NMM foi relativamente elevada, com um abrandamento há cerca de 8 000 anos (na cota -30m;

Dias *et al*., 1997). Segundo Terrinha *et al*. (2019), foi neste episódio evolutivo curto que se gerou o escorregamento submarino observado na frente deltaica do Tejo. De acordo com os dados existentes, o NMM terá estabilizado na sua posição atual há cerca de 3 500 anos.

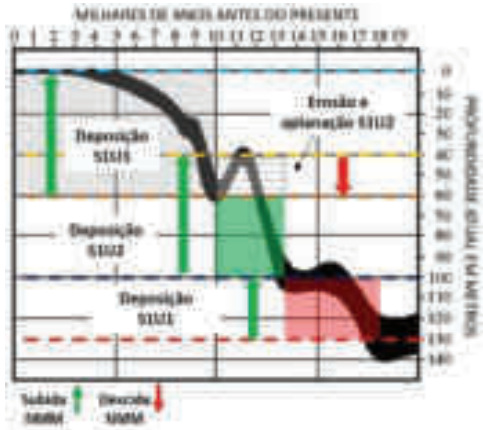


Fig.4. Curva de variação do NMM (negro) referente aos últimos 20 000 anos (Dias et al., 2000) com a proposta de modelo evolutivo da cobertura sedimentar marinha adjacente ao sistema fluvial do Tejo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise e interpretação das linhas de reflexão sísmica de alta resolução permitiu estabelecer a sequência sismo-estratigráfica até ao soco geológico, e reconhecer a importância do Tejo como fonte de partículas sedimentares para o ambiente marinho.

No soco rochoso mais antigo foram individualizadas três unidades sísmicas principais, SR, PV1 e PV1a, com idades prováveis entre o Miocénico (SR) e o Plio-Quaternário (PV1 e PV1a). Esta sequência encontra-se truncada por uma superfície de expressão regional, sobre a qual se depositou a sequencia sísmica mais recente, diminuindo de espessura com o afastamento ao Tejo, composta por 3 unidades sísmicas principais (S1U1, S1U2 e S1U3), que se formaram após o UMG. No interior da unidade mais recente foram reconhecidos vestígios da ocorrência de grandes movimentos de massa e a presença de áreas muito ricas de material de origem orgânica, eventualmente estuarina (cuja alteração liberta uma fase gasosa).

De acordo com o modelo evolutivo apresentado, existe concordância entre a formação das unidades sísmicas (S1U1, S1U2 e S1U3) e as principais fases de subida do NMM dos últimos 20 000 anos (Dias *et al*., 2000). Neste modelo, os refletores de definem essas unidades (*R0, R1, R2* e *Fundo*) correspondem a períodos de não deposição (fases de estabilização NMM) ou de abrasão marinha (fases de rebaixamento do NMM).

Não obstante a boa concordância encontrada, reconhece-se que o modelo só poderá ser confirmado com a aquisição de dados adicional de natureza sedimentológica.

REFERÊNCIAS

Boillot, G.; Dupeuble, P.A.; Mougenot, D. (1974) - Géologie du plateau continental portugais entre le Cap Carvoeiro et le Cap de Sines. *C.R.Acad.Sc. Paris*, 279:887-890.

CLIMAP Project Members (1976) - The surface of the ice-age earth. *Science*, 191:1131-1137.

Dias, J. M. A. (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Tese de doutoramento, Univ. Lisboa, 384p. (*não publicado e anexos*).

Dias, J.M.A., Rodrigues, A., Magalhães, F. (1997) - Evolução da linha de costa em Portugal, desde o último máximo glaciário: Síntese dos conhecimentos. APEQ, I:53-66.

Dias, J.M.A.; Boski, T.; Rodrigues, A.; Magalhães, F. (2000) – Cost line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology* 170, PII: S0025-3227(00)00073-6, pp. 177-186.

Dias, J.M.A.; Rodrigues, A.; Magalhães, F. (1997) – Evolução da linha de costa, em Portugal, desde o último máximo glaciário até à actualidade: Síntese dos conhecimentos. *APEQ*, I:53-66.

Mitchum, R.M.Jr.; Vail, P.R. (1977) - Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 7: Seismic stratigraphic interpretation procedure. *In*: Seismic Stratigraphy - App. Hydrocarbon Exp. Payton, C.E. (Ed.). *Am.Ass.Pet.Geol.* 26:135-143.

Mougenot, D. (1989) – Geologia da margem Portuguesa. *Docs. Técnicos*, Ins. Hidrográfico, 32, 259 pp.

Noiva, J.; Duarte, H.; Terrinha, P.; Brito, P.; Magalhães, V.; Alves, P.; Rosa, M.; Oliveira, M.; Curado, F. (2014) - Searching for landsalides in the stratigraphic record of the Tagus river delta as evidences for tsunami and earthquakes, using 3D seismic reflection. *Comunic. Geol.* (2014) 101, Especial II: 697-700. ISSN: 0873-948X.

Ruddiman, W.F. & McIntyre, A. (1981) - The North Atlantic ocean during the last glaciation. *Paleogeog. Paleoclimatol. Paleoeco.* 35:145-214.

Taylor, D. I. (1992) - Nearshore shallow gas around the U.K. coast, *Cont.Shelf Res*.,12, 10:1135-1144.

Terrinha, P.; Duarte, H.; Brito, P.; Noiva, J.; Ribeiro, C.; Omira, R.; Baptista, M.A.; Miranda, M.; Magalhães, V.; Roque, C.; Tagusdelta cruise team (2019) - The Tagus River delta landslide, off Lisbon, Portugal. Implications for Marine geo-hazards. *Marine Geology* 416 (2019) 105983, p. 16. DOI:10.1016/j.margeo.2019.105983

Vanney, J.R.; Mougenot, D. (1981) - La plateforme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse Geomorphologique. *Mem. Serv. Geol. Portugal*. 28, 86 p.

Sedimentary processes on Santa Maria Island shelf (Azores): Preliminary results from the PLATMAR project

Quartau, R. (1,2); Moreira, S. (1); Zhao, Z. (3); Pombo, J. (1); Duarte, J. (1); Rodrigues, A. (1)

(1) Divisão de Geologia Marinha, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. rui.quartau@hidrografico.pt.

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

(3) Department of Earth and Environmental Sciences, University of Manchester, UK.

Abstract: In this work we present the first results from the interpretation of sedimentological data and high-resolution seismic reflection profiles collected around Santa Maria under the scope of the PLATMAR project, to understand which factors control the present-day sedimentary processes of the shelf. This study allowed the recognition of a mixed volcaniclastic - bioclastic sedimentation. The inner shelf is dominated by terrigenous particles that are increasingly replaced by bioclastic particles as we move offshore, to the point that bioclasts are the only constituent of the outer shelf. High wave energy and sea level changes promoted the erosion and transport of older sedimentary sequences offshore. These were lost to the slopes of the island during sea level falls, resulting in a shelf that is now almost sediment-stripped. Presently, wide shelves contribute to wave-energy dissipation, resulting in a significantly diminished volcaniclastic sediment production by cliff erosion and thus bioclastic sedimentation prevails.

Key words: Azores, insular shelf, Santa Maria island, sediment samples, sedimentary processes.

1. INTRODUCTION

The PLATMAR project aimed to improve our understanding of the development of insular shelves based on the study of Santa Maria Island. In 2018, under the scope of this project, sediment sampling was performed on the insular shelf of Santa Maria, allowing a sedimentological characterization. Here, we present a preliminary interpretation of the factors controlling the depositional processes of the insular shelf.

2. GEOLOGICAL SETTING

Santa Maria Island lies on the Azores plateau, near the triple junction between the North American, Eurasian and Nubian lithospheric plates (Fig. 1). The island is now considered outside the influence of the diffuse boundary between the Nubian and Eurasian plates. Santa Maria emerged above sea level ~6 Ma ago and was volcanically active until 2.8 Ma ago. It presents a complex history of vertical movements, since it subsided from 6 Ma to 3. 5 Ma, when it reversed to uplift, with more than 200 m of vertical displacement (Ricchi et al., 2020).

3. DATA AND METHODS

The PLATMAR2/2018 mission lasted from 23th August to 12th September 2018. The mission consisted on the acquisition of sediment samples with a Smith-McIntyre grab sampler and a ground-truthing survey through scuba diving and drop-down camera on the insular shelf of Santa Maria Island (Figs. 2 and 3). A total of 118 samples were collected at Santa Maria and around 24 hours of filming were made (Fig. 4). Additionally, 7 samples were collected during the cruise M150 BIODIAZ (27.08.-02.10.2018) of RV METEOR.

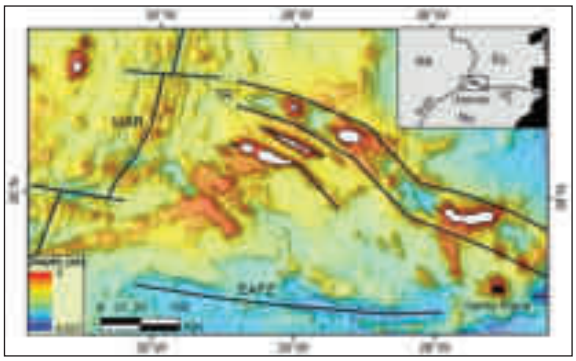


Fig. 1. Regional setting of the Azores Plateau within the triple junction between the American, Eurasian and Nubian plates. Black lines represent the tectonic structures of the area. MAR: Mid-Atlantic Ridge; EAFZ: Eastern Azores Fracture Zone; TR: Terceira Rift; GF: Gloria Fault. The bathymetry is derived from the EMODNET web portal (http://portal.emodnet-bathymetry.eu).

Sediment samples were homogenised and subsampled for grain-size, total inorganic carbon (TIC) and total organic carbon (TOC) measurements. For grain-size analysis, the subsamples were wet sieved with a 500 µm sieve. After, the coarser particles were dry sieved with a Retsch Vibratory Sieve Shaker AS200 Control, while the fraction < 500 µm was analysed with laser diffraction technology using a Malvern Mastersize Hydro 2000G particle

size analyser. Both data sets were then merged to produce composite grain-size distributions. The TIC and TOC were determined by infrared spectrometry with a Skalar Primacs SN100907 analyser. Calcium carbonate ($CaCO_3$) contents were estimated based on TIC, by multiplying its value by 8.33.



Fig.2. R/V Arquipélago from the University of the Azores used on the mission PLATMAR2/2018. Photo from the ship's stern showing the Smith-McIntyre grab sampler (pointed by red arrow).



Fig. 3. Equipment used during the mission PLATMAR2/2018. (a) Drop-down camera set-up used with a winch over the side of the ship. (b) Installation of a Go Pro camera on the Smith-McIntyre grab sampler (pointed by black arrow) to film the seafloor during sediment sampling. (c) Opening of the lid of the Smith-McIntyre grab sampler to photograph and collect samples.

The distribution and thickness of the unconsolidated sediments lying on the shelf of Santa Maria Island was measured with a seismic grid acquired on a previous mission (PLATMAR1/2016), which details can be found on Ricchi et al. (2020).

The wave regime characterization was made using the model outputs of the European Centre for Medium range Weather Forecasts (ECMWF) 40-yr Re-Analysis (ERA-40) and ECMWF Interim Re-Analysis (ERA-Interim) (Ricchi et al., 2020). A rose diagram for Santa Maria offshore significant wave heights (and their associated percentages and originating directions was produced (Fig. 5). These wave properties were extracted from a six hourly significant wave height Hs database and averaged for the sea area adjacent to Santa Maria Island (36.875°N - 37.125°N, 24.9375°W – 25.25°W) for the period September 1957 to August 2019.

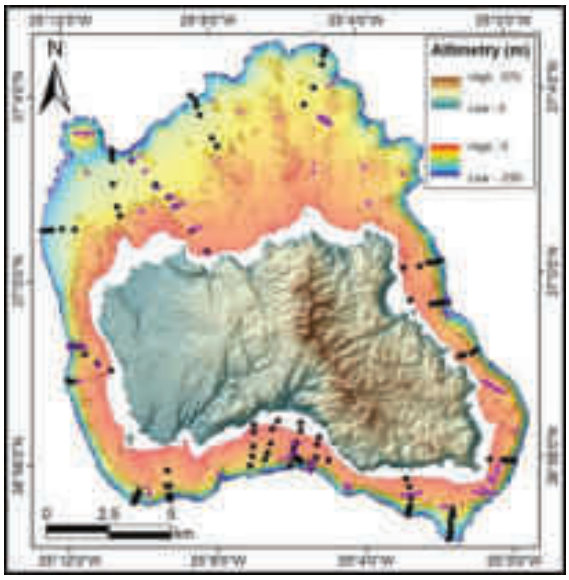


Fig. 4. Data acquired during the mission PLATMAR2/2018 on the insular shelf of Santa Maria. Back dots represent samples collected by the Smith-McIntyre grab sampler. Pink dots and lines represent respectively drop-down camera dives and transects to film the seafloor. The bathymetry shown is already the result of the survey PLATMAR1/2016. Map in projection UTM 26S.

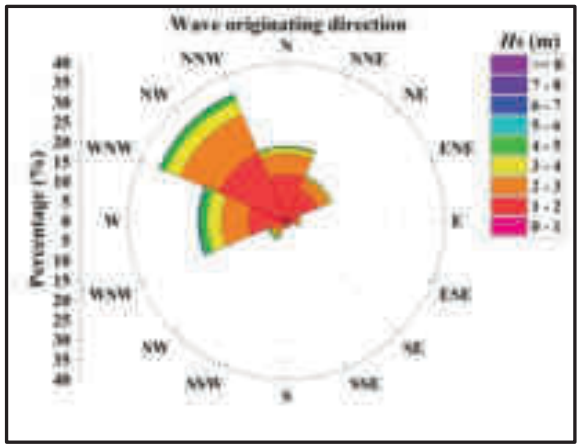


Fig. 5. Offshore significant wave heights in the Santa Maria area derived from ERA 40 and ERA Interim (Ricchi et al., 2020).

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Spatial distribution of the shelf sediments

The results from the laboratory analysis allowed us to plot the spatial distribution of grain size and $CaCO_3$ (Figs. 6, 7and 8) and remark several trends:

- The mean grain size is higher on the samples collected at the more exposed shelf sectors to the waves (the northern and western shelves are windward and the southern and eastern shelves are leeward, see Figs. 5 and 6).
- The $CaCO_3$ content in the sediments tends to increase with depth (Figs. 6 and 7).
- There also appears to be a relationship between shelf width and the $CaCO_3$ content of the sediments.
- The $CaCO_3$ content on sediments consists of carbonated skeletal particles of organisms, such as bryozoans, bivalves, gastropods and foraminifera.
- The coarser samples have more carbonated skeletal particles (Fig. 8).

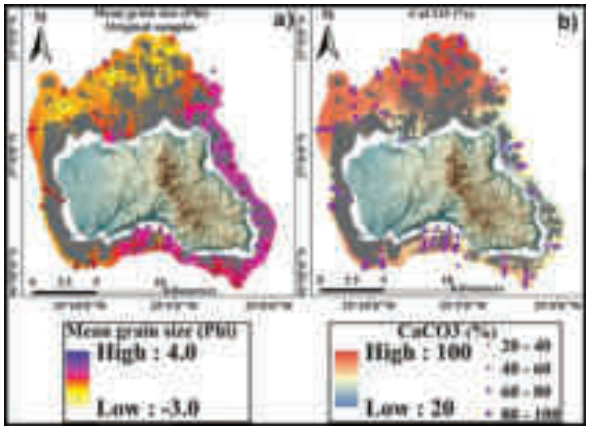


Fig. 6. Sedimentary characteristics of the insular shelf of Santa Maria (a) Grain size distribution. (b) Percentage of $CaCO_3$. The grey areas correspond to rocky outcrops.

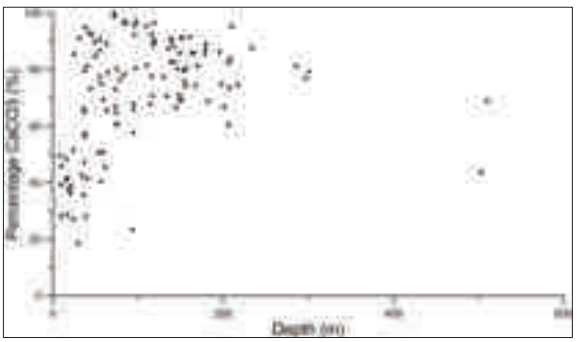


Fig. 7. $CaCO_3$ content on sediments versus depth.

Therefore, a few conclusions can be made just by looking at these patterns:

- In the more exposed shelf sectors, finer sediments are further transported offshore by downwelling currents formed during storms, which leave the remaining deposits coarser.
- The carbonate production is higher on the outer shelf of all sectors and results from accumulation of skeletal particles of carbonate organisms.
- Most likely the higher productivity in the outer shelf is related to upwelling which effect does not reach so well the middle and inner shelf.
- The smaller content of $CaCO_3$ on the narrower shelf sectors is related with the offshore flux of terrigenous sediments that "dilutes" the percentage of carbonate particles. On wider shelves the transport of terrigenous sediments seldom reaches the middle and outer shelf and thus that "dilution" effect is smaller.

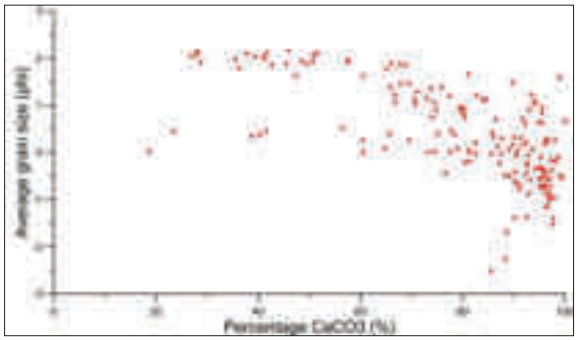


Fig. 8. Sediment average grain size versus $CaCO_3$ content.

4.2. Sediment thickness

The shelves surrounding Santa Maria are mostly sediment-starved. Around 50% of the shelf is rocky and sediment thickness is on average < 2 m. Most of the sediments accumulate on the outer shelf as clinoform deposits (Figs. 9 and 10). A few depocenters exist, however, only with thicknesses up to 14 m, but these are clearly fault-controlled basins. The great majority of the profiles shows only a seismic unit, which suggests that these sediment bodies were formed during the present highstand, i.e., after 6.5 ka, when sea level reached a height much similar to the present-day level (Quartau et al., 2012). An independent analysis to each sector shows the following (Table 1):

- The sectors with less sediment volume normalized to their shelf area are the northern and western sectors. This is because these sectors are the more exposed to wave energy (Fig. 5) and are therefore the ones where sediments are further transported offshore during storms and likely lost to the steep submarine slopes of the island.
- Although the northern and western sectors are submitted to similar wave energy, the percentage of sediment cover in the western sector is half of the northern sector. This is because the western sector is much narrower and more sediment is lost by offshore transport during storms.

The lack of thicker and older submarine deposits that should have accumulated by erosion of the subaerial flanks of the island is related with the high wave energy in the Azores and the cyclicity of sea-level changes. High wave energy tends to transport sediments offshore and when sea level is lowering,

sediments that normally accumulate on the shelf are swept offshore until they are lost to the slopes as they cross the shelf edge. Therefore, deposits do not accumulate from past sea level changes as they do on continental shelves that are much wider. In the present-day, and since shelves are relatively wide, waves tend to attenuate their energy, eroding the cliffs with less efficiency.

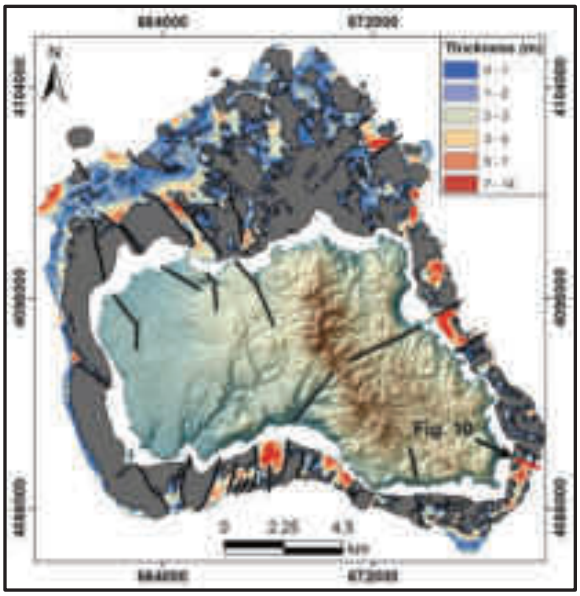


Fig. 9. Sediment thickness map. The grey areas are rocky outcrops. Red solid line locates the seismic profile in Fig. 10 Other black lines represent faults and their extension offshore.



Fig. 10. Seismic profile showing a clinoform body developing on the outer shelf. Location is on Fig. 9 as a red solid line. Black line represents the base of the clinoform.

Table 1. Estimative of rocks and sediments' volume around the four shelf sectors.

	Area (km^2)			Area (%)		Sediment Volume (km^3)	Volume/ Area
Sectors	Sediment	Rock	Total	Sediment	Rock		
Northern	36.82	36.24	73.06	50.40	49.60	0.515	0.007
Western	3.3	9.9	13.2	25.00	75.00	0.037	0.003
Southern	9.45	9.58	19.03	49.66	50.34	0.221	0.012
Eastern	6.53	5.67	12.2	53.52	46.48	0.187	0.015

In addition, Santa Maria has lower cliffs and rains less, when compared to other studied islands, so fewer sediments are expected to be eroded from the island to the coastline. Thus, not only less sediment is produced, but also larger accommodation spaces (wider shelves) preclude the existence of thicker submarine deposits, as found on other studied volcanic islands (Quartau et al., 2012).

5. CONCLUSIONS

Santa Maria is an old, volcanic inactive, low and dry island, with quite wide shelves (2-8 km), so terrigenous input to its shelves is not noteworthy. Although wave energy is high, the relatively wide shelves attenuate them and cliff erosion is diminished. Therefore, although in the inner shelf volcaniclastic sedimentation dominates, as we move offshore, a mixed volcaniclastic - bioclastic sedimentation takes place. Below storm wave base terrigenous sediments seldom reach the middle to outer shelf and carbonate skeletal particles dominate. High wave energy concomitant with sea level drops contributed to the erosion and transport of older sequences offshore, which were ultimately lost to the slopes of the island, resulting in a shelf that is sediment-stripped for the most part.

Acknowledgements

Data acquisition and processing was funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia through the PLATMAR project (Development of volcanic island shelves: insights from Sta. Maria Island and implications on hazard assessment, habitat mapping and marine aggregates management). We also acknowledge the samples acquired during the cruise M150 BIODIAZ.

REFERENCES

Quartau, R., Tempera, F., Mitchell, N.C., Pinheiro, L.M., Duarte, H., Brito, P.O., Bates, R., Monteiro, J.H., 2012. Morphology of the Faial Island shelf (Azores): The interplay between volcanic, erosional, depositional, tectonic and mass-wasting processes. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q04012.

Ricchi, A., Quartau, R., Ramalho, R.S., Romagnoli, C., Casalbore, D., 2020. Imprints of volcanic, erosional, depositional, tectonic and mass-wasting processes in the morphology of Santa Maria insular shelf. *Mar. Geol.* 424, 106163.

The space variability of the sedimentary cover of the Portuguese continental shelf: contribution from the AQUIMAR Project

Santos, R. (1); Oliveira, A. (1); Pombo, J. (1); Rodrigues, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. rita.santos@hidrografico.pt.

Abstract: The main objective of this work was the characterization of the sedimentary cover of 5 areas in the Portuguese continental shelf (AQUIMAR project), based on grain-size (sieving and laser diffraction) and mineralogy (X-rays diffraction) results. Samples were grouped by the average values and their position on the shelf (inner, middle, outer) and upper slope.
The northern area presents a low/absence of fine fraction due to the higher hydrodynamic regime; gravel content dominates in area B and muddy shelf deposits are absent; compositionally, terrigenous particles dominate, mainly quartz. Very coarse sediments compose Peniche area. Between Setúbal and Sines the shelf deposits are mostly sandy, (calcite and quartz). In the Algarve shelf, the western sub-sector is richer in carbonated sandy sediments and the eastern sub-sector show an increase in the content in silt and clay, denoting different oceanographic regimes.

Key-words: sediments, minerals, shelf, grain-size, AQUIMAR.

1. INTRODUCTION

The main objective of this work is the characterization of the sedimentary cover along the Portuguese continental shelf, as requested by AQUIMAR project. The project originally defined 5 separated areas, which could be potentially suitable for the development of aquaculture industry. These areas were: (A) between Viana do Castelo and Porto; (B) between Aveiro and Figueira da Foz; (C) Peniche; (D) between Setúbal and Sines; (E) the Algarve shelf.

The northern continental shelf is characterized by a high energetic hydrodynamic regime (Dias and Nittrouer, 1984). According to Dias (1987), sandy particles are the dominant textural class, and the fine fraction is generally low. The middle shelf gravelly-sandy deposits present high percentages of coarse particles with a terrigenous origin, being interpreted as paleo-littorals. In this sector the main particles sources are Douro River, Aveiro lagoon, and Mondego River (Dias and Nittrouer, 1984). Due to the proximity to the above systems, the inner and middle shelf present higher content of terrigenous sediments. The finer deposits are concentrated in the outer-shelf, where low hydrodynamic conditions allow the deposition of fine particles and biogenic material (Dias and Nittrouer, 1984), and in two muddy deposits, located in the mid-shelf off the Douro and Minho estuaries (Drago *et al.*, 1998).

In the area Setúbal-Sines (area D) the continental shelf is covered by sandy sediments with increasing silty fraction below 80 m depth. The presence of coarse sediments (gravel) is very low compared with the northern areas (Dias, 1987). Biogenic fraction becomes common in the outer shelf as terrigenous fraction decreases (Matos et al., 2006).
The Algarve shelf (area E) presents a different hydrodynamic regime when compared with the western margin and is the most diverse in what concerns textural classes. Sandy sediments (with or without coarse material) are dominant, despite the dominance of silt in some sectors. Reflecting the eastern low hydrodynamic energy, the fine fraction increase in the outer shelf and in the eastern sectors of Algarve. Due to higher energetic regime, the coarse biogenic material (>2mm) is dominant in the western sediments (IH, 2010). Nevertheless, the terrigenous coarse material is very low because of the lack of major rivers, besides the Guadiana River (Dias, 1987).

2. METHOD

2.1. Field Work

In the framework of AQUIMAR project three cruises were performed in order to collect sediment samples in the 5 study areas. Between September 2018 and March 2019 a total of 205 samples were collected (33 samples in area A; 51 samples in area B; 18 samples in area C, 14 samples in area D and 89 samples in area E) with a Smith McIntyre grab. The sampled sediments were homogenized and placed inside a plastic container and preserved in the freeze (-18ºC).

2.2. Laboratory and instrumental data processing

In laboratory, grain-size and mineralogical analysis were performed. In the grain-size analysis, two methods were used to measure the particle size: the sieving (>500µm) and the laser diffraction methods (<500 µm with Malvern Mastersizer Hydro 2000). These methods were combined to obtain a unique dimensional distribution for the totality of the particles. The mineralogical composition (fraction below 63 µm) was analyzed through X-ray diffractometer (X'Pert PANALYTICAL). When the sample volume was insufficient for the procedure, the

fraction below 500 µm was analyzed (milling fraction).

For the analysis of these areas it was chosen to calculate **mean values** by grouping the samples according to their position on the shelf: (i) **inner shelf** (depths ≤ 40m); (II) **middle shelf** (depths between 40-80m); (iii) **outer shelf** (depths between 80-160m); (iv) **upper slope** (>160m). Results were projected in a GIS environment (ArcGIS software), allowing a more accurate regional description.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Area A – Viana do Castelo and Porto

In the bottom sediments of area A the dominant textural class is sand (Figure 1).

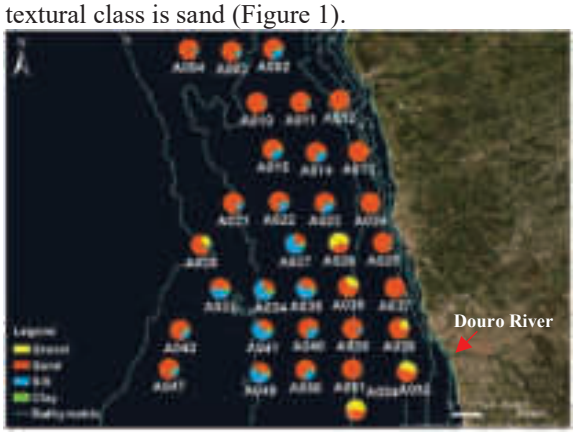


Fig. 1. Textural variation of the sedimentary cover of Area A.

In the **inner shelf** sediments are mostly composed by sand (90% sand, 9% gravel, 2% silt) and absence of clay. Close to the Douro river mouth, in stations A38 and A52, an increase of coarse particles (gravel 20-40%) is observed.

Sediments from the **middle shelf** are sandy (sand 66% and gravel 12%), with an increase of fine sediments (silt 21% and clay 2%). In this sector, local concentrations of gravel were recorded at station A26 (60%), probably related to an outcrop proximity (IH, 2010) or paleo-littoral (Dias, 1987). Representing the mid-shelf muddy deposits, samples from stations A27 and A35 show an increase in finer fractions (67% and 56%, respectively).

The **outer shelf** sediments are dominated by sand (68%) with a southward increase of silt fraction (reaching 29%). The clay and gravel fraction are lower than 10%. These differences may be related to the distance to the primary terrestrial source (Douro River) and also the presence of rocky outcrops in the muddy deposit southern limits (Drago *et al.*, 1998) that can promote the settling of fine particles.

In the **upper slope** were collected two samples (A29 and A43) showing the predominance of sand (74%), followed by silt (12%) and clay (3%). In the station A43, the content in gravel is higher than in the station A29, 21% and 3%, respectively.

Considering the mineralogical composition of the fine fraction of these samples, sediments are composed majority by quartz > mica > plagioclase > calcite > k-feldspar. Vestigial minerals (<10%) such as chlorite, amphibole, zircon and dolomite were detected. The fraction bellow 500µm was dominated by quartz, k-feldspar, plagioclase and vestigial mica, calcite and chlorite.

3.2. Area B – Aveiro and Figueira da Foz

Textural characteristics of deposits covering the continental shelf between Aveiro and Figueira da Foz present a special continuity with the northern area, being the sandy class dominant.

The **inner shelf** is predominantly sandy (88% of sand) with local gravel enrichment (mainly in NE stations with 11%). The absence of silt and clay suggest a higher hydrodynamic regime (Dias, 1987). In Figure 2, it is possible to observe that sediments near the mouth of Aveiro Lagoon are coarser (gravel content ranging from 15% to 47%). The gravel fraction decreases southward.

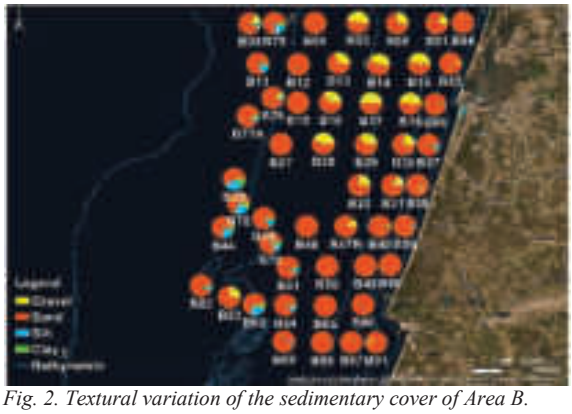


Fig. 2. Textural variation of the sedimentary cover of Area B.

The same tendency was observed in the **middle-shelf**, the sediments are mostly sand (78%) with some gravel, which decreases southward (varies between 0% to 49%). The fine sediments (silt and clay) occur in very low percentages (<1%), revealing the local high hydrodynamics.

In the **outer shelf, s**andy sediments are predominant (84% sand and 3% gravel) and present an increase of fine fraction (≤ 40%). The increase of silt (10%) and clay (3%) suggests a decrease of hydrodynamic conditions.

The minerals detected in the studied fine fraction are calcite > mica > quartz > plagioclase with the following vestigial (<10%) minerals: k-feldspar, chlorite, kaolinite, amphibole, pyroxene and magnesium calcite. The fraction bellow 500µm is composed mostly by quartz and k-feldspar and vestigial minerals are mica, pyroxene, zircon, plagioclase, calcite, dolomite, pyrite and ilmenite.

3.3. Area C – Peniche

Area C was poorly sampled, as shown in Figure 3. Nevertheless, some conclusions were raised from the textural and mineralogical analysis.

Sediments from the **inner shelf** continued to be dominated by coarse sediments (82% of sand at C13 and 53% of gravel at C14). In these samples, fine fraction was absent.

In the **middle shelf,** the dominant textural class is sand (73%), followed by gravel (27%) with small percentages of silt and clay (<1%).

The **outer shelf** sediment sample presents 80% sand, 11% silt, 5% clay and 4% gravel.

Minerals identified in this area are mainly composed by calcite > mica > quartz > plagioclase and the vestigial minerals (<10%) are chlorite, kaolinite, aragonite, k-feldspar, magnesium calcite, dolomite, siderite and pyrite.

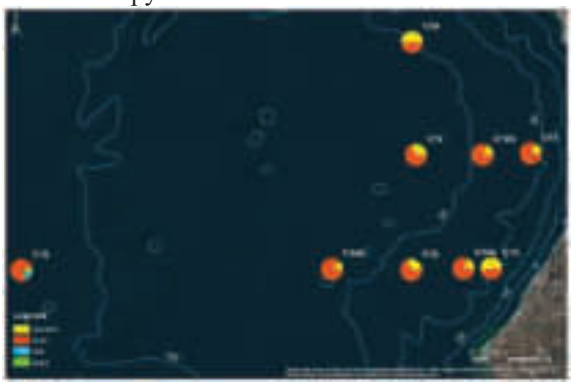


Fig. 3. Textural variation of the sedimentary cover of Area C.

3.4. Area D – Setúbal and Sines

Between Setúbal and Sines, sand is the dominant textural class in the studied samples (Figure 4).



Fig. 4. Textural variation of the sedimentary cover of Area D.

In the **middle shelf** sediments are mostly sandy (84% sand), with some gravel (16%) and very low content in finer fractions (<1%). The higher percentage of gravel (42%) was observed at D11, possibly reflecting the paleo-littoral described by Dias (1987).

Sediments from the **outer shelf** are mostly sandy (sand 70%), with an increase of silt (16%) and clay (7%), as the gravel fraction decreased (1%). The observed variation may be justified by the hydrodynamic conditions that decrease with depth.

The two stations (D16 and D22) sampled in the **upper slope** indicate the sandy nature of the bottom sediments (85%) with small percentages of gravel (10%), silt (3%), and clay (2%).

Considering the mineralogical composition, fraction bellow 500 µm, are dominated by quartz > k-feldspar and vestigial aragonite, plagioclase and calcite, denoting the higher terrigenous contribution. The fraction <63 µm, is much more carbonated, being dominated by calcite > quartz > k-feldspar > plagioclase. As vestigial minerals (<10%) we found chlorite, mica, aragonite and dolomite.

3.5. Area E – Algarve Continental Shelf

The Algarve continental shelf was analyzed in two sub-sections (eastern and western zone) divided by the Portimão submarine canyon.

3.5.1. Western Zone

In the **inner shelf** sediments are mainly sandy (75%) with lower content of silt (12%), gravel (8%) and clay (5%). The sample collected at S. Vicente cape presents almost 100% of sand (E120) (Figure 5).

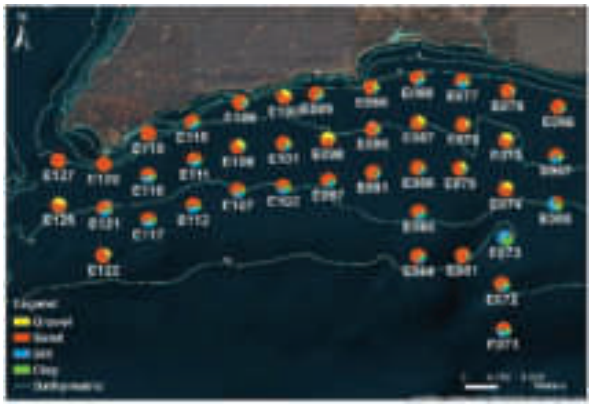


Fig. 5. Textural variation of the sedimentary cover of Area E (western sector).

The **middle shelf** sediments are mostly sandy (70%) with gravel (13%), silt (12%), and clay (5%). The higher content of gravel of station E98 (Fig. 5) suggests the presence of a coarse sandy deposit. The increase of silt in stations, E111, E118, and E86 may correspond to middle-shelf muddy-deposits (IH, 2010).

In the **outer shelf** sediments, sand continues to dominate (63%), with an increase in silt (23%) and clay (8%), and a decrease in gravel (6%).

In the **upper slope** sand occurs with percentage of 43% and an increase of silt (38%) and clay (18%) was observed; gravel is vestigial (1%).

Mineralogy is very homogenous in all the studied samples (fraction <63µm), with calcite > quartz as dominant minerals. Vestigial minerals are mica, plagioclase, k-feldspar, chlorite, magnesium calcite, aragonite, amphibole and dolomite.

3.5.2. Eastern Zone

In the **inner shelf** most of the sediments are sandy (mean sand 54%, varies between 25-80%).
The fine fraction is abundant, with silt 23 % and clay 11%, which reflects the lower hydrodynamic regime. The gravel presents a mean of 12%, with a maximum of 40% in station E55 (Fig. 6).



Fig. 6. Textural variation of the Area E sedimentary cover (eastern sector).

The **middle shelf** sediments are very heterogeneous. However, sand is still dominant (44%), despite the increase of silt (35%), which becomes dominant in stations E14, E15, E26, E32 and E64. Locally the clay fraction reach 30% (E21) and gravel 18% (E53).

In the **outer shelf** sediments, **s**ilt is the dominant class (46%), followed by sand (28%), clay (22%) and gravel (4%), suggesting the offshore decrease in hydrodynamic energy, that allows the settling of finer particles.

In the **upper slope**, sediments are mainly composed by silt (43%) followed by sand (30%) clay (23%) and gravel (4%).

The mineralogical composition of sediments from this sector are composed by calcite > quartz > mica > plagioclase. The maximum value of calcite (67%) was observed in E06. The vestigial minerals are k-feldspar, chlorite, dolomite, amphibole and aragonite.

FINAL REMARKS

Sediments from the Portuguese continental shelf are mostly sand, as reported by Dias (1987) and mapped in the sedimentological charts (IH, 2010).

The northern areas (A and B) show low content of silt and absence of clay, especially in the inner shelf due to the higher hydrodynamic conditions. The content in gravel increase in area B, because of the lowest contributions from major rivers, and the shelf morphological characteristics (lack of muddy deposits). The coarse material found in the northern shelf may be remains of paleo-littorals, as referred by Dias (1987). The existence of middle to outer shelf muddy deposits in area A, explain the high content of silt and clay in the sediments. The mineralogical assemblage, dominated by quartz, supports the terrigenous origin of the northern sediments.

The Setúbal-Sines shelf is mainly composed of sandy sediments, where calcite and quartz dominate. The existence of higher contents of calcite at higher depths is due to a decrease in terrigenous material (Matos *et al.,* 2006). In the Peniche shelf, the presence of very coarse sediments and rocky outcrops difficult the sampling. Such as detected in Setúbal-Sines shelf, calcite is the dominant mineral.

Sandy sediments are also dominant in the Algarve shelf. However, comparatively to the western coast the content in silt and clay is higher, increasing from West to East. At the western sector sand is essentially carbonated, which indicates the lack of terrestrial input and dominance of biogenic material. By contrary, at the eastern zone, the content in silt and clay increases and the content in carbonates decreases mainly close to the Spanish border. These stations present more tectosilicates, like quartz, which indicates terrigenous origin, maybe from the Guadiana River and Spanish shelf dynamics.

In conclusion, the silt and clay tends to increase at higher depths (outer shelf) and along the continental shelf, which marks major differences in the terrestrial particle sources, oceanographic conditions and different levels of energy near the bottom.

Acknowledgements
The authors want to thanks to the Project MAR2020 nº MAR-02.01.01-FEAMP-017 – AQUIMAR – *Caraterização geral das áreas aquícolas para estabelecimento de culturas marinhas*. The first author benefits of a research fellow by AQUIMAR project.
Acknowledgements are due to the Portuguese Navy crew and to the sampling and laboratory technicians.

REFERENCES

Dias, J.M.A. (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Tese de doutoramento, Univ. Lisboa, 384p. (*não publicado e anexos*).

Drago, T., Oliveira, A., Magalhães, F, Cascalho, J., Jouanneau, J-M., Vitorino, J. (1998). Some evidences of northward fine sediment transport in the northern Portuguese continental shelf. *Oceanologica Acta*, Vol.21 Nº2, 223-231

Matos, M., Santos, A., Echols,C. (2006). Cartografia dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental entre os Cabos da Roca e Sines: sua evolução nos últimos 80 anos. *VII Congresso Nacional de Geologia*. 409-412

IH (2010) – *Cartografia dos depósitos sedimentares da plataforma continental portuguesa (folhas SED1, SED 2, SED 3, SED4, SED5, SED7/8)*. Escala 1: 150 000, Instituto Hidrográfico.

Dynamics of Nepheloid layers associated with internal wave activity off Figueira da Foz

Oliveira, A. (1); Santos, A. I. (1,2); Oliveira, P. B. (3); Zacarias, N. (1); Amorim, A. (4)

(1) Instituto Hidrográfico - R. das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa; anabela.oliveira@hidrografico.pt.

(2) Instituto Dom Luiz/Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal.

(3) IPMA, Av. Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165 Algés.

(4) MARE-Centro de Investigação do Mar e do Ambiente, Faculdade Ciências da Universidade Lisboa - Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

Abstract: Fixed station CTD/nephelometry and water sampling data, obtained during the HABWAVE cruise (07 to 19 September 2019) in the continental shelf off Figueira da Foz, are used to describe nepheloid layer dynamics (INL and BNL) in the presence of intense Internal Wave (IW) activity. During this cruise, the vertical displacement of the intermediate nepheloid layer (INL) is in the order of ±20m and bottom nepheloid layer (BNL) mimic the passage of IW, increasing in height with wave crest (43m) and decreasing in wave pit (21m), in the same order as INL. The suspended sediment BNL composition, obtained through X ray diffraction, confirms the detrital mineral source of suspended particles, with some punctual increases of organic matter, possibly due to bottom sediment resuspension and near bottom transport.

Key words: internal waves, nepheloid layers, NW Iberia, shelf.

1. INTRODUÇÃO

Previous studies have shown that nepheloid layers (intermediate and bottom) are present in the water column worldwide and are considered important for the transport of matter and energy (Eisma, 1993). In the Portuguese continental shelf Quaresma *et al*., (2007) observed the remobilization of mid-shelf bottom sediment by the action of large amplitude internal solitons that can force strong bottom current pulses during summer forcing conditions, resulting in a well-defined bottom nepheloid layer (BNL).

The action of internal waves in sediment dynamic was investigated in the Portuguese continental shelf off Figueira da Foz (fig.1) as part of HabWAVE project. In this area, sands and gravel with limited fine fraction (silt + clay) dominate the sedimentary cover. The silty sand sediments are only present near the shelf edge and normally associated with rocky outcrops (IH 2010).

In this study, we present and discuss results obtained during late summer, from fixed station CTD/nephelometrical profiles, characterizing nepheloid layer dynamics in the presence of intense Internal Wave activity (IW).

2. DATA AND METHODS

During the multidisciplinary IH-HABWAVE cruise (09-20 September 2019) two periods of fixed station (YoYo) with CTD/nephelometer and water sampling were surveyed covering two semi-diurnal low tides (33 yoyos on September 16th and 15 yoyos on September 18th, corresponding to, approximately, a 09 h and 06 h period, respectively). The yoyos covered a ~100m depth water column near a mooring position where two ADCP´s were previously deployed (more details in Oliveira *et al., this issue*). Collected grab samples (fig.1) show that a bottom silty sand sediment characterize this spot.

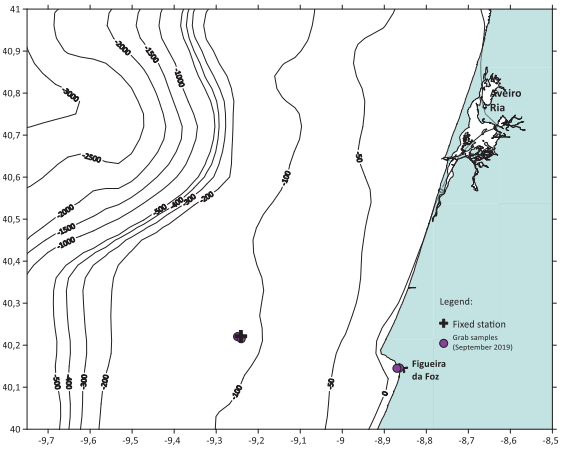


Fig. 1. Fixed station and grab samples location (HabWave cruise in September 2019).

Particulate matter concentration (PMC) was determined by filtration on 0.45µm acetate cellulose membranes. The water samples were collected with a rosette sampler containing 11 Niskin bottles (8 of 5.0 liters and 3 of 2.5 liters) in the bottom nepheloid layer (BNL).

The obtained nephelometrical profiles in Formazine turbidity units (FTU) were used as a semi-quantitative but reproducible measurement of PMC. In this cruise the following calibration equation was obtained; *FTU=0.997667xPMC(mg/l)* with n=31 and R^2=0.93227.

The mineralogy of the PM was also studied in selected samples from BNL. This analysis was carried out in an X-Pert diffractometer, with CuKα radiation. Scans were run between 2º and 35º 2θ directly on filters containing the PM samples .

3. RESULTS AND DISCUSSION

The observations conducted in September 2019 are representative of conditions found during the upwelling season. The surface wave regime was weakly energetic, without wind (fog). The water column structure shows the development of a well-defined thermocline, variable in depth, along the tidal cycle (fig. 1). The nephelometry data, gathered during the cruise showed that the study area is generally characterized by low values (<2.5 FTU), indicating that concentration of PM are normally low (Fig.2).

On September 16th the thermocline extends between 05-30 m and 17-55 m water depth (between 11:50 and 16:06) (fig. 1) showing depth-temporal variability. Relatively high PM concentrations were observed near the seabed (>0.5 FTU) but also in two small INL's (15 and 35 water depth) whose position is associated with the thermocline. BNL, also shows temporal variability associated with the moving thermocline. Higher PM values are associated with the IW's passage. During this cruise, the vertical displacement of the intermediate nepheloid layer (INL) is in the order of ±20m and bottom nepheloid layer (BNL) mimic the passage of IW, increasing in height with wave crest (43m) and decreasing in wave pit (21m), in the same order as INL

The effect of the IW's in the water column is also evident on September 18th (fig.3). During the observation period, INL´s seems thinner, but BNL was again intense and well defined with ~20-30m height.

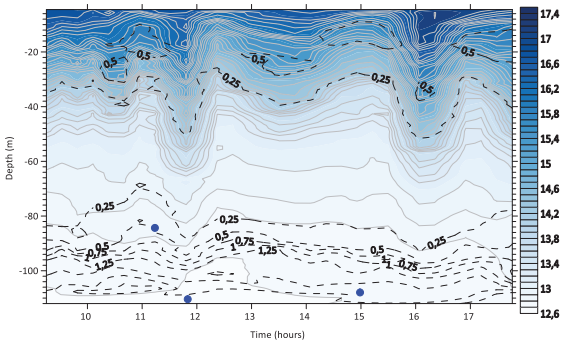


Fig. 2. Temperature (in blue) and resultant nephelometry/PMC (mg/l) dotted black lines, in fixed station (16/09/2019). Blue dots represent the PMC samples.

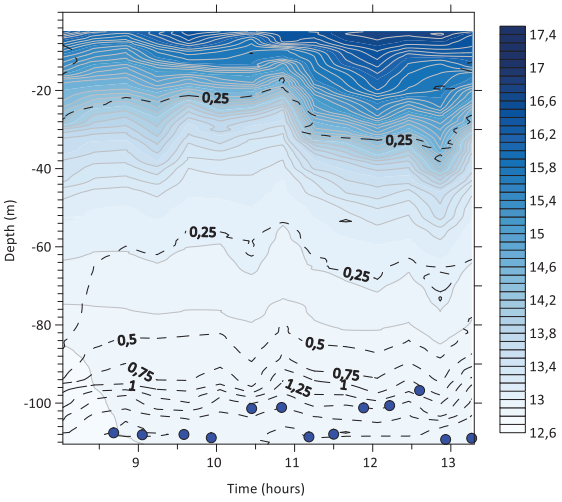


Fig. 3. Temperature (in blue) and resultant nephelometry/PMC (mg/l) dotted black lines, in fixed station (18/09/2019). Blue dots represent the PMC samples.

PM mineralogical results made in 3 BNL samples in the first sampling period and in 12 samples in the second day (location in fig.2 and fig.3), show that the prevailing minerals in suspension were phyllosilicates, mainly mica/illite > chlorite > kaolinite with the presence of calcite and quartz (fig.4). These results were influenced by the presence of organic matter (OM) in the filters, that can shift the characteristic mineral's peaks position (hkl) and increase the background around the 20º 2θ (*see* fig.4a station ADCP20 and 4b stations ADCP36, 38, 41 and 42).

Observations showed that on September 16th, OM increased at the BNL's top layer (~80m depth), but on the 18th this tendency was not so evident, because the samples were collected at one single depth. The increase of OM seems related with the different IW's energy (action) near bottom that can promote irregularly the preferential transport of OM in the BNL, or the remobilization and transport of the mineral fraction, namely quartz and phyllosilicates.

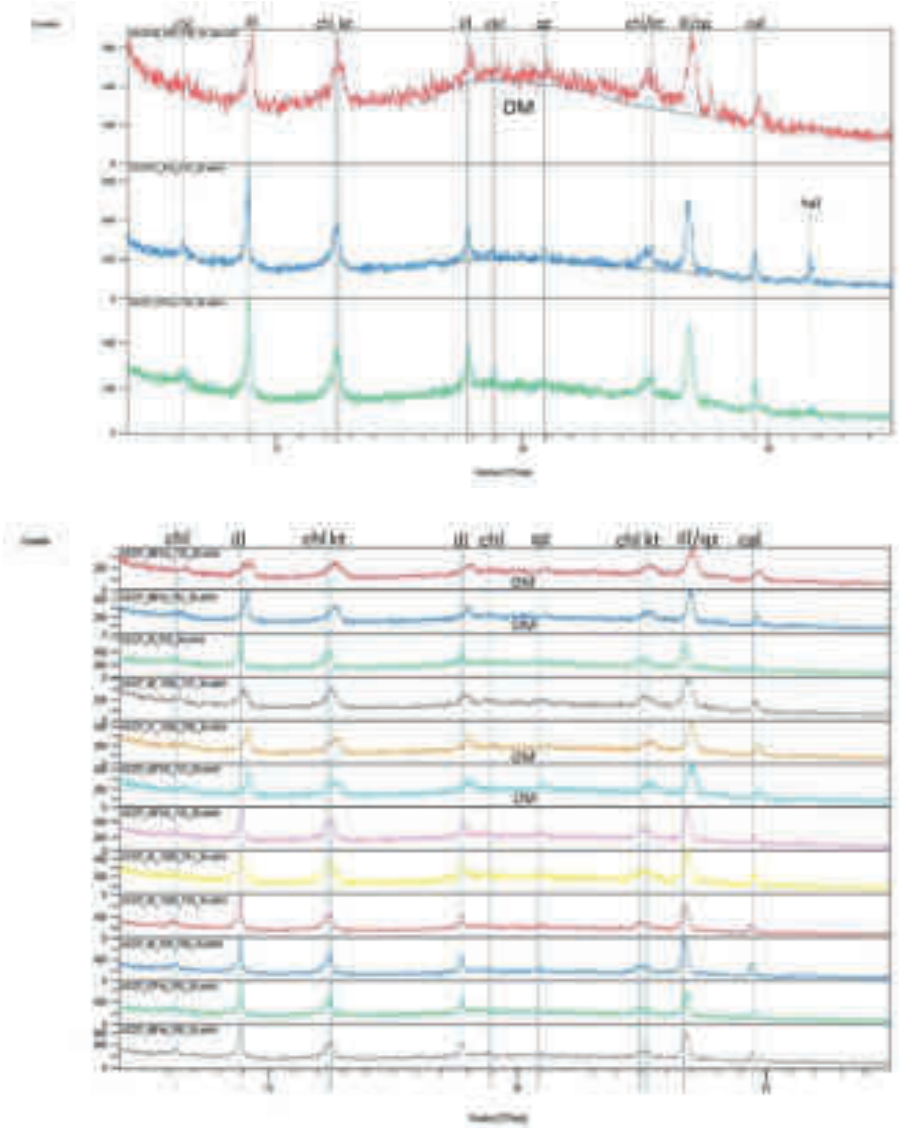


Fig. 4. PM DRX analyses; Top figure correspond to 16 September samples and bottom figure corresponds to 18 September samples (OM- organic matter; chl-chlorite; ill-illite; kt-kaolinite; qz-quartz; cal- calcite; hal-halite). Note in graphics, vertical axis scale is variable.

FINAL CONSIDERATIONS

The data obtained in this study show that effectively IW's are transporting and resuspending both OM and mineral grains in the BNL (mostly phyllosilicates).

Future work, includes the relation of BNL with forcing agents (IW's pulses/energy, directions, currents velocity), and also the relation of resuspension periods with harmful algal blooms and the presence of phytoplankton resting stages in the water column.

AKNOWLEDGEMENTS

This work is a contribution to HABWAVE project LISBOA-01-0145-FEDER-031265, co-funded by EU ERDF funds, within the PT2020 Partnership Agreement and Compete 2020, and national funds through FCT under the project UID/MAR/04292 /2020.

REFERENCES

Eisma, D. (1993), Suspended Matter in the Aquatic Environment, 315 pp. Springer-Verlag, New York.

IH (2010) – *Cartografia dos depósitos sedimentares da plataforma continental portuguesa (folhas SED1, SED 2, SED 3, SED4, SED5, SED7/8)*. Escala 1: 150 000, Instituto Hidrográfico.

Quaresma, L., Vitorino, J., Oliveira, A. & da Silva, J. (2007). Evidence of sediment resuspension by nonlinear internal waves on the western Portuguese mid-shelf. Marine Geology, 246:123-143.

Variabilidade textural da cobertura sedimentar de 4 zonas interiores de Portugal continental entre 2002-2006 e 2019

Santos, R. (1); Oliveira, A. (1); Luz, C. (1); Pombo, J. (1); Rodrigues A. (1); Palma, C. (1)

(1) Instituto Hidrográfico- Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. rita.santos@hidrografico.pt .

Resumo: Este trabalho consiste no estudo da variabilidade textural da cobertura sedimentar de 4 zonas interiores de Portugal continental (ria de Aveiro, rio Mondego, rio Mira e ria Formosa) no período 2002-2006 e 2019 (projeto AQUIMAR). O principal objetivo é determinar a existência de variabilidade interanual nos sistemas amostrados através da análise dos parâmetros granulométricos (média, moda, desvio-padrão e percentagem de areia/silte/argila/cascalho). Para tal, foi estabelecida uma classificação, em 3 grupos: (1) estável, (2) com incremento de areia (> 10 %) e (3) com incremento de finos (> 10 %). De acordo com esta classificação, o sistema que sofreu mais alterações sedimentares, ao longo dos anos foi o rio Mondego, seguido da ria Formosa, ria de Aveiro e, por fim, o rio Mira (sem alteração textural).

Palavras-chave: AQUIMAR, hidrodinamismo, sedimentos, textura.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade textural da cobertura sedimentar de 4 zonas interiores de Portugal continental, nomeadamente, ria de Aveiro, rio Mondego, rio Mira e ria Formosa. Este estudo tem por base dados sedimentológicos de 2002-2006 (projeto interno Vigilância da Qualidade do Meio Marinho – VQM) e dados atuais do projeto AQUIMAR (2019).

A **ria de Aveiro**, localizada na região de Aveiro, é constituída por quatro canais principais: canal de S. Jacinto, Espinheiro, Mira e Ílhavo. Os sedimentos de fundo têm texturas variáveis devido aos processos de dinâmica sedimentar (Lopes *et al.*, 2006). Tendo em conta que a ria teve origem em processos litorais, a percentagem de areia nos canais é bastante elevada, em especial nos canais a Norte, bastante mais grosseiros que os canais a Sul, onde se encontram areias e partículas finas. A dragagem nos canais de navegação é recorrente, tendo-se observado o valor máximo de volume dragado em 2006 (Costa, S., 2016).

O **rio Mondego**, é o quinto maior rio português, que desagua perto da Figueira da Foz. A zona mais a jusante do estuário é dividida em dois braços (Flindt *et al.,* 1997): (i) o braço Norte é mais profundo (atinge os 5 – 10 m na preia - mar) tem maior intrusão salina e, é composto por sedimentos mais grosseiros do que a areia média; (ii) o braço Sul, tem o rio Pranto como afluente, é menos profundo (2 – 4 m na preia - mar), tem menor entrada de água salgada e, é onde se encontram areias mais finas e argila (Pereira *et al.,* 2005), resultantes das intervenções antropogénicas, tendo sofrido siltação e diminuição do hidrodinamismo (Cunha *et al.,* 2002).

O **rio Mira**, que desagua junto a Vila Nova de Milfontes, é estreito e apresenta uma profundidade média de 6 m (Cardoso, 2007). Em 1993, este rio foi considerado isento de impactes humanos (Marques 1993). A maior parte dos sedimentos do estuário do Mira são vasas e vasas pouco arenosas, sendo as amostras de raso de maré e de mais alto sapal as mais grosseiras (Cardoso, 2007).

A **ria Formosa**, localizada a Sul de Portugal continental, é composta por duas penínsulas (Ancão e Cacela) e 5 ilhas barreira (Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas). Com uma elevada ocupação humana estes sistemas são vulneráveis aos efeitos do aumento do nível médio do mar que, ao longo dos últimos anos, tem agravado situações de erosão costeira e provocado ainda episódios de assoreamento (Ceia *et al.,* 2010).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi efetuado tendo por base dados sedimentológicos históricos obtidos através do projeto interno do Instituto Hidrográfico (IH), VQM realizado entre 2002 e 2006. Estes dados foram comparados com os dados adquiridos nas mesmas regiões em 2019, no âmbito do projeto AQUIMAR. Em 2019 foram colhidas 38 amostras de sedimentos superficiais com recurso a um colhedor do tipo *Petite Ponar* (11 amostras na ria Formosa, 10 na ria de Aveiro, 9 no rio Mondego e 7 no rio Mira). Quer as amostras atuais como as amostras de anos anteriores foram sujeitas ao mesmo tipo de ensaio granulométrico, através da análise por difração laser (Malvern MasterSizer 2000 na fração < 500 µm) e peneiração na fração > 500 µm. Desta forma foi possível a comparação dos dados atuais com os dados de 2002-2006, através dos parâmetros média, moda, desvio-padrão e percentagem de areia, cascalho, argila e silte. Com base nos resultados texturais, calculou-se os valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros disponíveis (ver tabela I), e foi estabelecida uma classificação por amostra de modo a perceber a sua variabilidade interanual: grupo 1 – sem variabilidade textural significativa – estável;

grupo 2 – aumento da componente arenosa (perda de finos > 10 %) e grupo 3 – aumento do teor em finos > 10 % (siltação).



Fig. 1. Localização das várias zonas de amostragem, com os respetivos locais de amostragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ria de Aveiro

A amostragem realizada em 2019 permitiu agrupar as amostras de acordo com a sua localização: a RA4 e RA4A no canal de S. Jacinto; a RA8 à saída do canal; a RA7, RA6 e RA6A no canal de Espinheiro; a RA9A e RA9 no canal do Mira; a RA12 no canal do Ílhavo; a RA11 no rio Vouga.

De uma forma geral, em todas as amostras a classe dominante dos sedimentos de fundo é a areia ([2 mm – 63 µm[), exceto na RA6 e RA11, onde predomina o silte. É no canal Espinheiro que se verifica maior variabilidade textural: a RA6 é um silte arenoso, a RA6A é uma areia siltosa e a RA7 é uma areia.

O material grosseiro (> 2 mm) presente nos sedimentos é essencialmente de natureza biogénica (fragmentos de conchas), sendo que, é nas amostras RA4 e RA12 que se observam as percentagens superiores.

A tabela de classificação textural (tabela I) mostra que as amostras do canal Espinheiro praticamente não sofreram alterações a nível textural (Figura 2), apesar das dragagens realizadas para manutenção das condições de navegação.

Tabela I. Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros texturais da ria de Aveiro. Grupo 1 a verde, grupo 2 a laranja e grupo 3 a vermelho.

		Média (Φ)	DP	Moda (Φ)	>2mm	[2-63[	[63-4[	≤4 µm	Class.
RA4	2002-2006 (7)	1,85 (0,62-3,23)	1,39 (0,54-2,75)	1,29 (0,75-2,75)	5 (0-13)	83 (61-96)	11 (0-27)	1 (0-4)	2
	2019	0,42	1,60	0,75	17	82	0	0	
RA4A	2019	2,87	2,7	3,75	8,84	60,13	27,41	3,61	
RA8	2002-2006 (5)	3,28 (2,92-3,66)	1,78 (1,49-1,97)	2,55 (2,25-2,75)	0 (0-1)	75 (66-83)	22 (15-29)	3 (1-4)	1
	2019	3,95	1,94	2,75	0	60	36	4	
RA6	2002-2006 (6)	4,87 (4,25-5,27)	1,96 (1,84-2,07)	4 (3,25-4,75)	0 (0-0)	37 (26-52)	55 (43-65)	8 (5-11)	1
	2019	5,30	2,03	4,75	0	27	62	11	
RA6A	2002-2006 (5)	3,31 (2,51-4,11)	2,74 (2,31-3,22)	2,55 (-0,75-5,25)	7 (4-10)	52 (34-71)	36 (19-49)	5 (4-7)	1
	2019	4,13	2,22	2,75	0	52	42	6	
RA7	2002-2006 (5)	3,18 (2,66-4,05)	1,91 (1,24-2,42)	2,75 (2,25-4,75)	1 (0-6)	75 (48-92)	21 (7-47)	3 (1-5)	1
	2019	1,06	1,51	0,75	6	91	3	1	
RA9	2002-2006 (4)	1,11 (0,1-3,49)	1,17 (0,88-2,03)	0,38 (-2,25-2,25)	15 (2-45)	76 (55-95)	7 (0-30)	1 (0-3)	1
	2019	1,87	0,95	1,75	0	96	3	0	
RA9A	2019	1,28	1,31	1,25	3	93	3	1	
RA11	2002-2006 (6)	-0,18 (-0,82-0,49)	0,89 (0,12-1,4)	-0,63 (-2,25-0,75)	30 (7-50)	69 (50-93)	1 (0-2)	0 (0-0)	3
	2019	4,82	2,27	3,75	0	39	51	9	
RA12	2002-2006 (6)	1,84 (0,79-4,03)	3 (2,74-3,47)	-0,38 (-2,25-1,5)	24 (10-32)	48 (36-64)	24 (13-42)	4 (2-8)	2
	2019	0,11	1,61	0,75	22	77	1	0	

Nos restantes canais as variações texturais entre as amostras colhidas nos dois períodos são pontuais, como por exemplo, a RA12 (Figura 2). É de referir que a amostra localizada no rio Vouga, RA11, sofreu um aumento de material fino, possivelmente devido ao fenómeno de siltação que ocorreu no rio (Cunha *el al*., 2002).

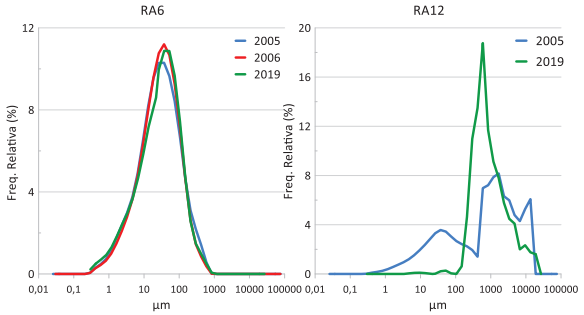


Fig. 2. Curvas granulométricas das estações da ria de Aveiro com os dados disponíveis de 2005-2006 e 2019.

3.2. Rio Mondego

A localização das amostras colhidas em 2019 permitiu agrupá-las da seguinte forma: a MO1 na foz; a MO2, MO6 e MO7 no braço Norte; a MO3, MO4, MO5 no braço Sul; a MO8 e MO9 no canal do rio Mondego. Do ponto de vista textural, atualmente, a fração dominante é a areia ([2 mm – 63 µm[). A baixa percentagem de finos detetada na amostra perto da foz (MO1) pode ser consequência da intrusão de areias litorais no sistema estuarino. É necessário referir que a fração mais grosseira desta amostra MO1 são fragmentos de conchas.

As restantes amostras, do braço Sul/Norte e do rio são caraterizadas pela predominância de partículas arenosas ([2 mm – 63 µm[) e baixo conteúdo de partículas < 63 µm (Tabela 2). As amostras MO2 e MO5 são bastante heterogéneas em termos texturais, o que pode estar relacionado com o local de amostragem: uma encontra-se perto da margem e a outra na foz do rio Pranto, respetivamente.

Tabela II. Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros texturais do rio Mondego. Grupo 1 a verde, grupo 2 a laranja e grupo 3 a vermelho.

		Média (Φ)	DP	Moda (Φ)	>2mm	[2-63[	[63-4[	≤4 µm	Class.
MO1 (5)	2002-2004	2,88 (2,58-3,72)	1,08 (1-1,31)	2,8 (2,75-3)	0 (0-0)	89 (68-96)	10 (4-30)	0 (0-1)	2
	2019	0,50	1,31	0,75	8	91	1	0	
MO2 (4)	2002-2004	1,64 (0,5-2,76)	0,83 (0,56-1,54)	1,63 (0,75-2,25)	5 (0-19)	95 (80-100)	0 (0-1)	0 (0-0)	3
	2019	3,24	3,28	0,75	9	48	36	7	
MO6 (2)	2002	-0,61 (-1,22-0)	0,73 (0,61-0,84)	-1,50 (-2,25 - -0,75)	58 (55-60)	41 (37-45)	0 (0-0)	0 (0-0)	1
	2019	1,34	1,29	0,75	1	94	4	0	
MO7	2019	0,78	1,12	0,5	5	94	2	0	
MO3 (3)	2002/04	4,46 (3,13-5,44)	3 (2,92-3,13)	4,33 (0,75-6,5)	6 (4-7)	36 (24-59)	45 (28-59)	13 (8-20)	2
	2019	0,50	0,90	0,75	6	94	0	0	
MO4 (2)	2002	-0,20 (-0,95 – 0,55)	0,95 (0,72-1,18)	-2,25 (-2,25- 0,5)	36 (23-50)	63 (50-77)	0 (0-0)	0 (0-0)	3
	2019	2,26	1,96	1,75	1	85	12	3	
MO5 (2)	2002	0,81 (0,75-0,86)	1,07 (1,04-1,1)	0,88 (0,75-1)	17 (1-33)	82 (67-96)	1 (1-2)	0 (0-0)	3
	2019	1,41	2,59	-0,25	15	71	12	3	
MO8	2019	0,46	0,88	0,75	7	93	0	0	
MO9	2019	-0,05	1,39	0,75	23	76	1	0	

De acordo com a Tabela II, a amostra perto da foz e as amostras do braço Norte apresentam maior variação textural (ver curvas granulométricas Figura 3). Por outro lado, as amostras do braço sul têm um aumento de partículas finas.

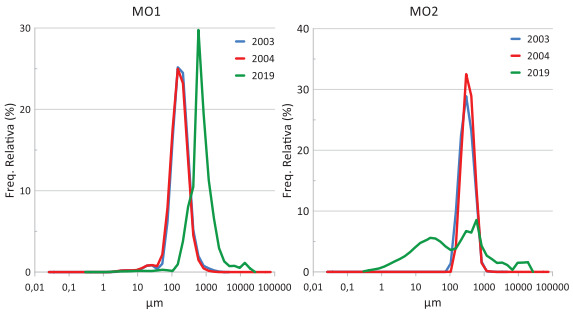


Fig. 3. Curvas granulométricas das estações do rio Mondego com os dados disponíveis de 2003-2004 e 2019.

3.3. Rio Mira

Em 2019, foram amostrados 7 locais no rio Mira: MI1, MI2, MI3, MI4, MI5, MI6 e MI7 (de jusante para montante).

As amostras de sedimento mais junto à foz (MI1 e MI2) têm como classe dominante a areia ([2 mm – 63 µm[).

Conforme a Tabela III mostra, nas amostras MI3, MI4, MI5 e MI7 a classe dominante é o silte ([63 µm – 4 µm[) e a argila (≤ 4 µm). Ao contrário das restantes amostras a MI6 é dominada pela areia ([2 mm – 63 µm[).

Ao longo do canal do rio Mira observa-se um aumento da fração fina que pode indicar ambientes de deposição mais calmos e redução da capacidade de transporte do rio (com meandros). A existência de areia siltosa (MI6), numa zona mais a montante, poderá ser indicativa da colheita de amostra ter sido realizada no lado erosivo de um meandro.

Tabela III. Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros texturais do rio Mira. Grupo 1 a verde, grupo 2 a laranja e grupo 3 a vermelho.

		Média (Φ)	DP	Moda (Φ)	>2mm	[2-63[	[63-4[	≤4 µm	Class.
MI1	2002-04 (5)	1,24 (-0,12-2,40)	0,56 (0,48-0,66)	1 (-0,25-2,0)	1 (0-4,69)	99 (95-100)	0	0	1
	2019	0,95	0,55	0,75	1	99	0	0	
MI2	2002-03 (3)	1,6 (-0,53-3,51)	1,15 (0,39-2,48)	0,93 (-0,75-2,25)	5 (1-10)	83 (61-99)	10 (0-29)	2 (0-6)	2
	2019	1,25	0,69	1,25	1	99	0	0	
MI3	2002-04 (5)	6,32 (5,16-6,90)	2,55 (1,98-3,97)	5,1 (-1,00-7,25)	5 (0-21)	10 (4-21)	57 (30-70)	27 (7-45)	1
	2019	6,03	2,55	6,75	6	14	55	26	
MI4	2002-04 (5)	6,27 (5,28-6,94)	2,55 (1,75-2,39)	6,35 (5,25-7,25)	1 (0-2)	12 (4-20)	68 (61-73)	20 (6-32)	1
	2019	6,53	2,55	7,25	0	16	55	28	
MI5	2002-03 (3)	2,81 (2,57-3,17)	2,55 (2,62-3,59)	-1,00 (-2,25-0,25)	23 (1-38)	41 (29-58)	28 (20-38)	8 (3-12)	3
	2019	6,88	2,55	7,25	0	9	61	30	
MI7	2019	6,35	2,96	7,25	3	12	55	30	
MI6	2019	3,85	3,28	1,75	4	55	26	14	

De acordo com a tabela de classificação textural (tabela III) as amostras MI1, MI3 e MI4 mantiveram-se estáveis do ponto de vista textural, conforme demonstrado na Figura 4.

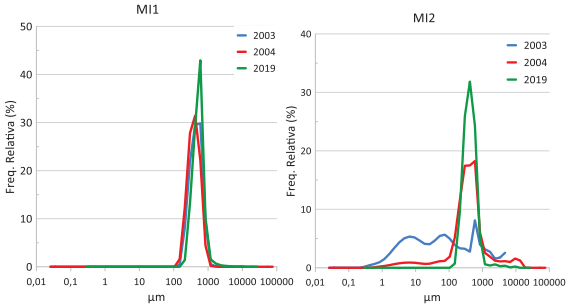


Fig. 4. Curvas granulométricas das estações do rio Mira com os dados disponíveis de 2003-2004 e 2019.

3.4. Ria Formosa

Dos 11 locais amostrados na ria Formosa as amostras RF9, RF8A e RF8 localizam-se no canal entre Tavira e Fuzeta; a RF1A e RF30 entre a Fuzeta e Olhão; no canal Faro-Olhão a RF29, RF32, RF10B e a RF4; a RF2 na foz da ria. A classe textural dominante nos sedimentos é a areia ([2 mm – 63 µm[), exceto nas amostras RF30 e RF32, essencialmente siltosas ([63 µm – 4 µm[) (tabela IV). No canal Tavira-Fuzeta, a única amostra que apresenta fração > 2 mm é a RF8A, sendo que, esta fração grosseira corresponde a fragmentos de material biogénico. No canal entre a Fuzeta e Olhão, verifica-se que, as amostras diferem na percentagem de material fino (< 63 µm). No canal Faro-Olhão, as amostras estão afastadas entre si o que pode justificar a variação no conteúdo/dimensão das partículas (ver tabela IV). Destas amostras a RF32 é a mais heterogénea. A amostra que se encontra na desembocadura da ria, a RF2, é arenosa.

A fração > 2 mm detetada nestas amostras corresponde a uma mistura de material terrígeno e material biogénico.

Tabela IV. Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros texturais da ria Formosa. Grupo 1 a verde, grupo 2 a laranja e grupo 3 a vermelho.

		Média (Φ)	DP	Moda (Φ)	>2mm	[2-63[	[63-4[	≤4 µm	Class.
RF9	2002-2006 (7)	4,67 (1,98-5,89)	2,94 (2,26-3,56)	4,68 (0,25-6,75)	5 (0-10)	35 (23-80)	45 (17-59)	15 (2-24)	2
	2019	1,39	0,62	1,25	1	99	0	0	
RF8A	2019	0,93	2,52	1,75	15,81	77,65	4,7	1,84	
RF8	2002-2006 (7)	0,75 (-0,1-1,75)	1,01 (0,55-1,46)	0,89 (-0,25-1,75)	7 (4-13)	92 (86-96)	0 (0-0)	0 (0-1)	1
	2019	1,22	0,54	1,25	0	100	0	0	
RF1A	2019	3,33	3,78	0,75	13,2	46,16	25,93	14,71	
RF30	2005	0,96	2,39	0,25	8	81	8	3	3
	2019	5,46	3,26	6,25	7	17	55	21	
RF29	2005	6,29	1,88	5,25	0	8	72	19	2
	2019	2,02	2,21	2,25	7	84	6	3	
RF32	2006	0,31	2,80	0,75	27	63	9	2	3
	2019	5,22	3,29	6,75	2	32	43	22	
RF10B	2019	3,3	3,22	0,75	8,85	54,58	26,05	10,52	
RF4	2002-2005 (7)	1,67 (-0,06-3,39)	1,05 (0,42-2,16)	1,5 (-0,25-2,25)	3 (0-10)	93 (78-100)	3 (0-15)	1 (0-6)	1
	2019	1,50	2,31	1,75	10	81	6	3	
RF2	2002-2006 (7)	0,45 (-0,54 - 1,13)	0,52 (0,39-0,65)	0,5 (-0,75-1,00)	4 (1-10)	96 (89-99)	0 (0-0)	0 (0-1)	1
	2019	0,32	0,66	0,75	3	97	0	0	
RF26	2002-2005 (7)	1,15 (-0,09-5,05)	1,7 (0,56-3,36)	0,57 (-0,2-1)	11 (1-23)	77 (29-99)	9 (0-41)	4 (0-21)	3
	2019	1,61	2,74	0,75	11	76	8	5	

De acordo com, os dados da tabela IV, verifica-se a existência de variações texturais nos vários canais da ria. A amostra da desembocadura, não sofreu variações texturais significativas (Figura 5), talvez devido à influência da entrada de sedimentos litorais. As amostras dos restantes canais estão bastante dispersas e mostram a existência de algumas variações texturais, como as encontradas na RF9 (Figura 5), justificadas pelas intervenções antrópicas no sistema.

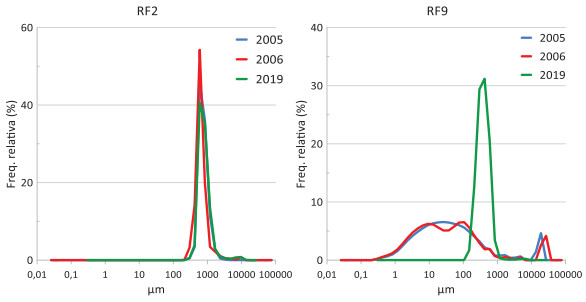


Fig. 5. Curvas granulométricas das estações da ria Formosa com os dados disponíveis de 2005-2006 e 2019.

4. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho e, de acordo com os dados disponíveis, verifica-se que o sistema com maior variabilidade sedimentar, é o rio Mondego (só com uma amostra do grupo 1), seguido da ria Formosa, ria de Aveiro e rio Mira. O rio Mira é o sistema com menor intervenção humana e por isso mais estável em termos texturais. Por outro lado, nos restantes sistemas estudados, prevalecem as intervenções antrópicas. O facto de o rio Mondego ser o sistema com maior variabilidade interanual poderá estar relacionado com a sua artificialização, expressa na construção de barragens que controlam as descargas fluviais e pela siltação que se verificou no rio Pranto e consequente alteração textural verificada no braço sul do Mondego.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto AQUIMAR – *Caraterização geral das áreas aquícolas para estabelecimento de culturas marinhas* (MAR2020 nº MAR-02.01.01-FEAMP-0107). A primeira autora beneficiou de uma bolsa no âmbito do projeto AQUIMAR que possibilitou o desenvolvimento do presente trabalho.
Agradece-se a todas as equipas envolvidas na amostragem e no processamento dos sedimentos no âmbito do projeto AQUIMAR e a todos os dados disponibilizados para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

Cardoso, R. (2007). Estudo Geoquímico e Sedimentológico de Ambientes Estuarinos do Litoral Português: Lima, Tejo e Mira. Tese de Mestrado. Lisboa.

Ceia, F.R, Patricio, J., Marques, J.C., Dias, J.A., *Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system*. *Ocean&Coastal Management* 53, 478-486.

Costa, S. (2016). Sedimentos em suspensão na Ria de Aveiro: Dinâmica atual e futura. Tese de doutoramento em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. Aveiro

Cunha, P.P, Dinis, J. (2002), *Sedimentary Dynamics of the Mondego Estuary*, In Pardal *et al. Aquatic Ecology of the Mondego River Basin*, 43-63

Flindt, M.R., Kamp-Nielsen, L., Marques, J.C., Pardal, M.A, Bocci,M., Bendoricchio, G., Salomonsen, J., Nielsen, S.N., Jorgensen, S.E. (1997). *Description of the three shallow estuaries: Mondego River (Portugal), Roskilde Fjord (Denmark) and the Lagoon of Venice (Italy). Ecological Modelling*,102,17-31.

Lopes, J.F., Dias, J.M. and Dekeyser, I. (2006). *Numerical modelling of cohesive sediments transport in the Ria de Aveiro lagoon*, Portugal. *Journal of Hydrology*, 319(1–4): 176-198.

Marques, J.C., Maranhão, P., Pardal, P.A. (1993). *Human Impact Assessment on the Subtidal Macrobenthic Community Structure in the Mondego Estuary (Western Portugal). Estuarine, Coastal and Shelf Science* 37, 403-419.

Pereira, P., Vale, C., Ferreira, A.M., Pereira, E., Pardal, M.A., Marques, J.C. (2005). *Seasonal Variation of Surface Sediments Composition in Mondego River Estuary. Journal of Environmental Science and Health*, A40, 317-329.

Valença, M., Cardoso, A., Borges, C., Palma, C., Santos, P. (2011). Relatório Vigilância da Qualidade do Meio Marinho – 25 anos de estudos, Instituto Hidrográfico, 123.

The potential of UAV to monitor coastal dunes changes

Sousa, L. B. (1); Costas, S. (1);Ferreira, O. (1)

(1) CIMA – Centre for Marine and Environmental Research, FCT, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. mlssousa@ualg.pt.

Abstract: Unmanned autonomous vehicles (UAV) are been increasingly used to monitor morphological changes in coastal areas. However, it is critical to understand the accuracy during the entire process to ensure low total errors in the products, especially at areas whit low changes rates (e.g. coastal dunes). Here, the use of UAV to analyse dune evolution was tested, exploring different flight configurations and number of deployed Ground Control Points (GCPs) to minimise errors. The studied dune is located at Ancão Peninsula, Faro, and it is characterised by low accumulation rates and sparse vegetation. The results indicate that good accuracies (i.e. RMSE below 3 cm) are attained when flying at intermediate elevations (i.e. 30 m) and distributing the GCPs following diamond grids. Yet, it is important to keep in mind that these levels of accuracy can be very close to morphological changes occurring at the scale of hours/days in these types of settings.

Key words: accuracy, flight elevation, ground control point, topography.

1. INTRODUCTION AND STUDY AREA

Unmanned autonomous vehicles (UAV) are commonly increasingly used to monitor morphological changes, providing an efficient and cost-effective survey tool for topographic mapping and measurement of coastal morphologies, as beaches and dunes (Turner *et al.*, 2016). Topographic change detection is a powerful tool in geomorphology for linking processes and forces to rates and patterns of erosion and deposition (James and Robson, 2012). The first works made using UAV to study dunes concluded that the workflow is characterized by an elevated degree of automation, allowing the reproduction of data collection using the same settings and illustrated the importance of reducing the error introduced during the whole process (Mancini *et al.*, 2013; Clapuyt, Vanacker and Van Oost, 2016; Martínez-Carricondo *et al.*, 2018). The later stressed the importance of choosing an appropriate number and distribution of Ground Control Points (GCP) to improve the accuracy of Digital Elevation Models (DEM) obtained from photogrammetry. Most of coastal monitoring UAV surveys were performed flying at around 100 m of altitude, reaching accuracies between 0.03 and 0. 05 m (James and Robson, 2012; Gonçalves and Henriques, 2015; Martínez-Carricondo *et al.*, 2018; Laporte-Fauret *et al.*, 2019). In very few cases the UAV flights were performed at low altitudes, around 40 m, with accuracies ranging from 0.08 m (Mancini *et al.*, 2013) to 0.04 m (Taddia *et al.*, 2019), showing that, although the technical complexity of low altitude flights, good results can be attained.

This work tests different survey configurations at the dunes of the Ancão Peninsula, located in the Ria Formosa Natural Park (Figure 1). The Ancão Peninsula belongs to the multi-inlet barrier islands system of Ria Formosa, South of Portugal. The study area is located in the vicinity of an airport, which limits regular flight altitudes to around 30 m. According to Costas *et al.* (Costas *et al.*, 2020), the rate of sediment transport in the area is relatively low because of a combination of factors among which the coarse nature of the sand, relatively low wind intensity and a dominance of shoreline retreat (for the analysed period).

The main objective of the present work is to present and analyse different data collection configurations, compare their vertical errors and define the best flight configuration to obtain accuracies below 0.03 m when using UAVs at low altitude to monitor topographical changes at dunes. For that the following questions were addressed:

1-Which is the most appropriate altitude of the flight?

2-How many GCPs are needed and what would be their best distribution?

3-Can the accuracy be improved by combining flight directions?

2. METHODOLOGY

Different UAVs' flights and postprocessing configurations were applied to answer the aforementioned questions. For that, a total of six flights were performed (i.e. three in January 2020, one in May 2020, and two in June 2020 (Table I)) in two test areas (areas A and B, Figure 1) within the eastern coastal dunes of Ancão Peninsula (Figure 1), using a Mavic 2 Pro drone from DJI (Figure 2A), with a Hasselblade L1D-20c Camera.

The flights were performed between 10 am and 4 pm, to minimise the shadow effect. In terms of weather conditions, all flights were performed during a sunny day with calm wind up to light breeze (Beaufort Scale).

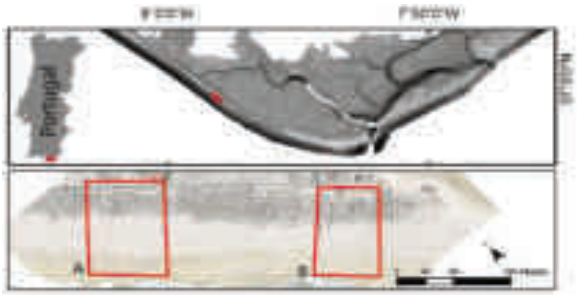


Fig. 1. Location of the study area. The upper panel shows the Ria Formosa barrier island systems with the red line indicating the location of the study area. The lower panel shows the two test areas (area A and B).

The flights were carried out at altitudes around 30 m, and were performed with the camera perpendicular to the floor, with a frontal overlap of 80% and a side overlap of 75%, and the home point was at the beach (Figure 2A). Before each flight, a set of GCPs were distributed within the test areas (Figure 3). The position and elevation of each GCP were obtained using a DGPS-RTK (Figure 2B and C). To validate and estimate the Root Mean Square Error (RMSE) of each DEM obtained from each flight, a set of checkpoints (CP) were additionally collected during the survey (Figure 3). RMSEs were estimated according to Equation 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_{GPS}-Z_{DEM})^2}{n}} \quad 1$$

Where Z_{GPS} is the elevation of the CP obtained with the DGPS, Z_{DEM} is the elevation of the CP extracted from the DEM generated, and n refers to the total number of CPs.

The software Agisoft Metashape (https://www.agisoft.com) was used to create the DEMs and Orthophoto maps. The GCPs were imported into the postprocessing software to rectify the location of the photos collected with the UAV. Once the photos were aligned, a point cloud was created (around 6000 points per square meter), and a DEM and an Orthophoto map were generated for each survey.

The experiments, summarized in Table I, consisted on changing flight settings to investigate the effect of: (1) UAV altitude and (2) orientation of the flights (i.e. all flights were surveyed perpendicular to the coastline except one that also included a survey parallel to the coastline); and (3) distance of GCPs by postprocessing the data with different number and distributions of GCPs.

The effect of flight altitude was explored by flying the test area A at 25, 30 and 40 m (Table I). Additionally, these tests were used to explore the effect of overlapping two flights altitudes (Test C), namely 25 and 40 m.

The effect of GCP distance over the resultant DEM accuracy was explored by changing the number of GCPs, testing a range of maximum distance among GCPs from 30 to 50 m during the postprocessing of the data in Tests A and D (January 2020) and Test E (May 2020) (Table II), at the test area A (Figure 1). Finally, the effect of overlapping flights surveyed with opposite orientations was explored during the experiment carried out in June 2020 at test area B.



Fig. 2. A – UAV used for the tests, placed at the home point; B – Survey of the location of each GCP with support of a DGPS; C – Mark used as GCP.

3. RESULTS

The experiments carried out to explore the effect of flight altitude indicate that as the flight altitude is reduced the error increases from 0.03 m at 40 m to 0.05 m at 25 m (Table I; Tests A and B). When two flights surveyed at different altitudes (i.e. 25 and 40 m; Test C) were combined, the result does not significantly improve, and the resultant accuracy is an average of the original errors, which is in turn coincident with the error obtained for the flight executed at 30 m (Table I; Tests D).

The experiments performed to explore the effect of decreasing the GCP number using Tests A and D show that the number of GCPs can be fairly reduced without changing the accuracy (Table II). However, that is not the case when decreasing the number of GCPs on Test E, where the RMSE increases from 0.02 m to 0.04 m (Table II) probably due to the change in the distribution of the GCPs within the grid. In June, the test performed to evaluate the influence of the fly direction shows that the accuracy of the resultant DEM significantly improves after overlapping the two flights (RMSE of 0.02 m; Test H; Table I).

According to these experiments, the results show that the best flight configuration, considering local restrictions, execution time and vertical error, includes flying at an altitude of 30 m, overlapping opposite flight directions (i.e. one perpendicular and other parallel to the coastline), and using a maximum distance of 50 m between the GCPs

*Table I. Original parameters of each test. || refers to flight orientation perpendicular to the coastline. = refers to flight orientation parallel to the coastline, while # refers to overlapped perpendicular and parallel flights; * flying height relative to the home point, that was always at the beach; ** refers to the maximum distance between GCPs.*

Test	Flight orientation	Flying height* (m)	Number of flights	Date	Flight hour	Test area	Total of GCP	GCP Distance** (m)	Number of Photos	Flight area (Km2)	Resolution (mm/pix)	RMSE (m)
A	||	40	1	Jan 2020	11:30 am	A	17	30	159	0.020	8.63	0.03
B	||	25	1	Jan 2020	11:40 am	A	16	30	342	0.015	5.16	0.05
C	||	25 and 40	2	Jan 2020	-	A	17	30	501	0.020	6.28	0.04
D	||	30	1	Jan 2020	11:59 am	A	17	30	273	0.023	6.93	0.04
E	||	30	1	May 2020	3:39 pm	A	13	30	267	0.019	6.61	0.02
F	||	30	1	Jun 2020	10:00 am	B	10	50	303	0.021	6.70	0.09
G	=	30	1	Jun 2020	10:14 am	B	10	50	316	0.021	6.88	0.06
H	#	30	2	Jun 2020	-	B	10	50	619	0.022	6.78	0.02

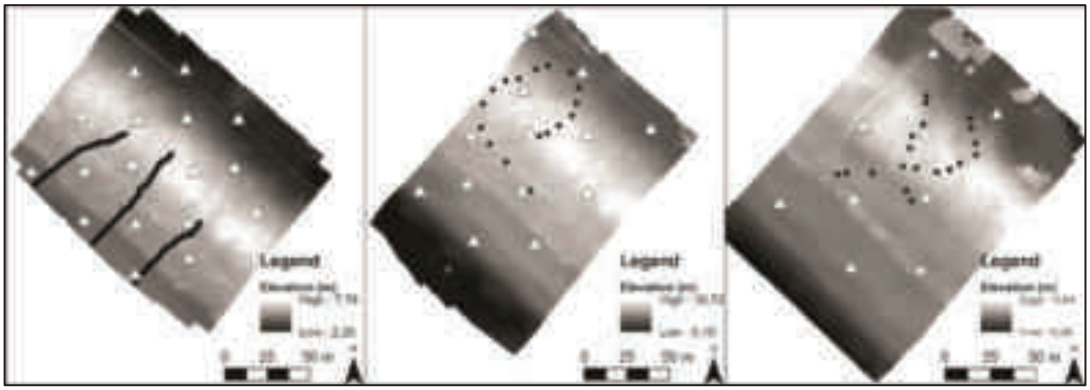


Fig. 3. Distribution of the GCPs (white triangles) and CP (black points) for each flight day. Left panel refers to Test A; Center panel refers to Test E and right panel refers to Test G.

*Table II. Influence of the reduction of GPCs on postprocessing Test A, D and E. *refers to the maximum distance between GCPs.*

Test	Number of GCP	GCP Distance* (m)	RMSE (m)
A	17	30	0.03
A1	13	40	0.03
A2	11	50	0.03
A3	12	50	0.03
D	17	30	0.04
D1	11	50	0.04
E	13	30	0.02
E1	10	40	0.03
E2	7	50	0.04

4. DISCUSSION

Different combinations of flight parameters (altitudes, GCP distances and flight orientations) were here performed to identify the best configuration to monitor coastal dune changes using UAV flying at low altitudes and evaluate the quality of obtained products, in particular DEM with vertical errors below 0.03 m.

Commonly, UAV flights for coastal monitoring purposes are performed at around 100 m altitude, obtaining vertical errors between 0.03 and 0.05 m (James and Robson, 2012; Gonçalves and Henriques, 2015; Martínez-Carricondo *et al.*, 2018; Laporte-Fauret *et al.*, 2019). In the study area, due to local fly restrictions, these altitudes cannot be performed. Considering the survey objectives, low altitudes flights will allow greater detail of the generated surface, despite the increasing errors related to the limited number of common elements in the images needed to ensure a good photogrammetric reconstruction. Few examples can be found in the literature that used low altitudes flights and the obtained vertical errors ranged from 0.08 m (Mancini *et al.*, 2013) to 0.04 m (Taddia *et al.*, 2019). The low altitude flights performed in the Ancão Peninsula showed a good commitment between the low altitudes and errors, which were below 0.03 m. These values can be reproduced over time if performed with a certain combination of additional flight parameters.

The distance, distribution, and number of GCPs are key parameters to the process of photogrammetric reconstruction to ensure high accuracy results. GCPs should be well distributed in space, with points at the edges and in the middle of the study area, and located at different elevations (Martínez-Carricondo *et al.*, 2018). The experiments made to analyse the effect of changing the number of GCPs (i.e. Test A and D) demonstrate that the GCPs can be reduced (from a maximum distance of 30 to 50 m) maintaining the same level of accuracy. However, this was not the case for Test E, whose accuracy decreased as the number of GCPs was reduced. This result could be related to the fact that as the number of GCPs were reduced, their ideal distribution was no longer

maintained, whit GCPs just on the borders of the flight area, reducing the accuracy of the results. This suggests that there is a minimum number of GCPs per surveyed area (i.e. 10 GCPs for an area of 0.02 Km^2) to maintain desired DEM accuracies and that theses GCPs should be distributed within all the survey area and not just at the borders/corners (e.g. distributed within a diamond grid).

The position of the sun is another important factor to take in count when performing UAVs flights (Sekrecka, *et al.*, 2020). Experiments should be carried out when the sun was vertical or near to that position to avoid having an additional factor of variability. The experiments carried out in June started at 10 am, before the sun was vertical and at an easterly position. The later might explain the better results obtained when flying parallel to the coastline and to the sun rise trajectory (Test G) compare to the results obtained when flying perpendicular to the coastline and sun rise trajectory (Test F). However, the overlapping of both flights significantly improved the results suggesting that such a solution may help to avoid limitations related to the time of the day during which the surveys are carried out (i.e. Test H). On the other hand, Test E performed at 3:39 pm in May, shows that desired accuracies were obtained despite the time of the day once the sun was more perpendicular than on Test F, performed in June at 10 am, and GCPs on Test E were well distributed around the flight area so the sun interference was masked.

5. CONCLUSION

The use of UAV to monitor coastal dunes changes has been increasingly applied in recent years. Yet, it is important to have the maximum control on the sources of error to obtain high quality results under reproducible settings. Here, different combinations of flight parameters were tested for flights at low altitude. The results suggest that the best configuration of flight settings to maintain DEM vertical errors below 0.03 m include: flying at 30 m height, overlapping two flights performed in opposite directions (i.e. perpendicular and parallel to the coastline), and using a number of GCPs spaced at a maximum of 50 m from each other in a diamond type grid.

Acknowledgments

Luisa Bon de Sousa is funded through FCT PhD Research Scholarships program (ref. SFRH/BD/144869/2019). Authors would like to acknowledge the financial support of the Portuguese Foundation of Science and Technology (FCT) to CIMA through UIDP/00350/2020 and the research project ENLACE (ref. PTDC/CTA-GFI/28949/2017).

REFERENCES

Clapuyt, F., Vanacker, V. and Van Oost, K. (2016) 'Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms', *Geomorphology*. Elsevier B.V., 260, pp. 4–15. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.05.011.

Costas, S. *et al.* (2020) 'Geomorphology Exploring foredune growth capacity in a coarse sandy beach', *Geomorphology*. Elsevier B.V., 371, p. 107435. doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107435.

Gonçalves, J. A. and Henriques, R. (2015) 'UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009.

James, M. R. and Robson, S. (2012) 'Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application', *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. Blackwell Publishing Ltd, 117(3). doi: 10.1029/2011JF002289.

Laporte-Fauret, Q. *et al.* (2019) 'Low-Cost UAV for high-resolution and large-scale coastal dune change monitoring using photogrammetry', *Journal of Marine Science and Engineering*. MDPI AG, 7(3). doi: 10.3390/jmse7030063.

Mancini, F. *et al.* (2013) 'Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The structure from motion approach on coastal environments', *Remote Sensing*, 5(12), pp. 6880–6898. doi: 10.3390/rs5126880.

Martínez-Carricondo, P. *et al.* (2018) 'Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Elsevier, 72(May), pp. 1–10. doi: 10.1016/j.jag.2018.05.015.

Sekrecka, A., Wierzbicki, D. and Kedzierski, M. (2020) 'Influence of the sun position and platform orientation on the quality of imagery obtained from unmanned aerial vehicles', *Remote Sensing*, 12(6). doi: 10.3390/rs12061040.

Taddia, Y. *et al.* (2019) 'UAVs for structure-from-motion coastal monitoring: A case study to assess the evolution of embryo dunes over a two-year time frame in the po river delta, Italy', *Sensors (Switzerland)*. doi: 10.3390/s19071717.

Turner, I. L., Harley, M. D. and Drummond, C. D. (2016) 'UAVs for coastal surveying', *Coastal Engineering*. Elsevier B.V., 114, pp. 19–24. doi: 10.1016/j.coastaleng.2016.03.011.

Acoustic remote seabed characterization for habitat suitability modelling – Gigante Seamount Complex, Mid-Atlantic Ridge (Azores, Portugal)

Santos, R. (1); Taranto, G. H. (2,3); Dominguez-Carrió, C. (2,3); Rodrigues, L. (2,3); Quartau, R. (1,4); Morato, T. (2,3)

(1) Instituto Hidrográfico – Marinha. Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. ruben.santos@hidrografico.pt.

(2) Okeanos Research Centre, Departamento de Oceanografia e Pesca, Universidade dos Açores, 9901−862 Horta, Portugal.

(3) IMAR – Instituto do Mar, Universidade dos Açores, Departamento de Oceanografia e Pescas, 9901−862 Horta, Portugal.

(4) IDL – Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande Edifício C1, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Abstract: The Gigante Seamount Complex is located on the Mid-Atlantic Ridge, at around 39º N and 30º W (Azores). This complex comprises a set of seamounts produced by fissural volcanism along ridge and transform faults. It harbours rich and unique benthic communities, many of which are considered Vulnerable Marine Ecosystems. Between June 3rd and 24th 2018, the Blue Azores expedition took place in this region on-board the vessel "N.R.P. Almirante Gago Coutinho". Its main objective was to study deep-sea benthic communities inhabiting unexplored seamounts of the Azores. Additionally, acoustic data and sediment samples were acquired employing a multibeam echosounder system (Kongsberg EM 120; EM 710) and the remotely operated underwater vehicle "LUSO". The present study analyses these data to provide a remote characterization of the seafloor through mapping the different seafloor morphologies and sediment types of the area. A thorough description of seafloor morphology and sediment type greatly improve our capacity to better predict the distributional patterns of resident benthic fauna.

Key words: acoustic remote characterization, Azores, benthic communities, geomorphology, Gigante seamount, Mid-Atlantic Ridge, sediment classification.

1. INTRODUCTION

Understanding the environmental drivers that determine the spatial distribution of key deep-sea benthic organisms is of paramount importance to effectively manage deep-sea ecosystems. In the context of the Marine Strategy Framework Directive (MSFD; 2008/56/EC) all Member States have to achieve good environmental status in all their marine regions. Yet, extensive sampling programs in the deep-sea are costly and technically challenging. In remote and little explored seas, habitat suitability models (HSMs) are extremely valuable to estimate the spatial distribution of marine organisms (e.g. Parra *et al*., 2017). HSMs statistically relate biological surveyed data with localised terrain characteristics and environmental variables to predict species distributions over an extended geographical area (Guisan et al., 2013). Along with depth, sediment type has been proven to be one of the most important variables in explaining the distribution of such benthic communities (Georgian et al., 2014). However, this information is rarely available potentially compromising the predictive accuracy of HSMs.

The Gigante Seamount Complex (GSC) is located on the Mid-Atlantic Ridge, at around 39º N and 30º W, close to triple junction of the North American, Nubian and Eurasian tectonic plates (Fig. 1) and it hosts the shallowest hydrothermal vent field discovered in the Azores economic exclusive zone. Water masses in this region are characterised by high concentrations of nutrients and minerals probably due the presence of hydrothermal vent activity; although their influence on the regional biodiversity of the seamounts remains unknown.

The GSC was surveyed during the 3rd-24th June 2018 by the Blue Azores expedition onboard the vessel "N.R.P. Almirante Gago Coutinho". Preliminary analysis of underwater images revealed that the GSC is very interesting from an ecological perspective as it hosts a wide variety of aggregating cold-water corals and sponges especially on areas of consolidated hard substrate. As an example, in Fig. 2 is showed an aggregation of large and long-lived colonies of two octocoral species (*Paragorgia* cf. *johnsoni* and *Paragorgia* cf. *arborea*). Many of the

aggregations existing on the GSC can be considered as Vulnerable Marine Ecosystems (FAO, 2009).

In this work we use data from multibeam echo sounder systems (MBES), remotely operated underwater vehicle (ROV) sediment samples and seafloor images to (i) characterize the different seafloor morphologies and (ii) map and classify the different sediment types existing in the region.

The outputs produced will allow to develop fine scale HSMs that can help managers and researcher to better understand the local distributional patterns existing in seamount communities.

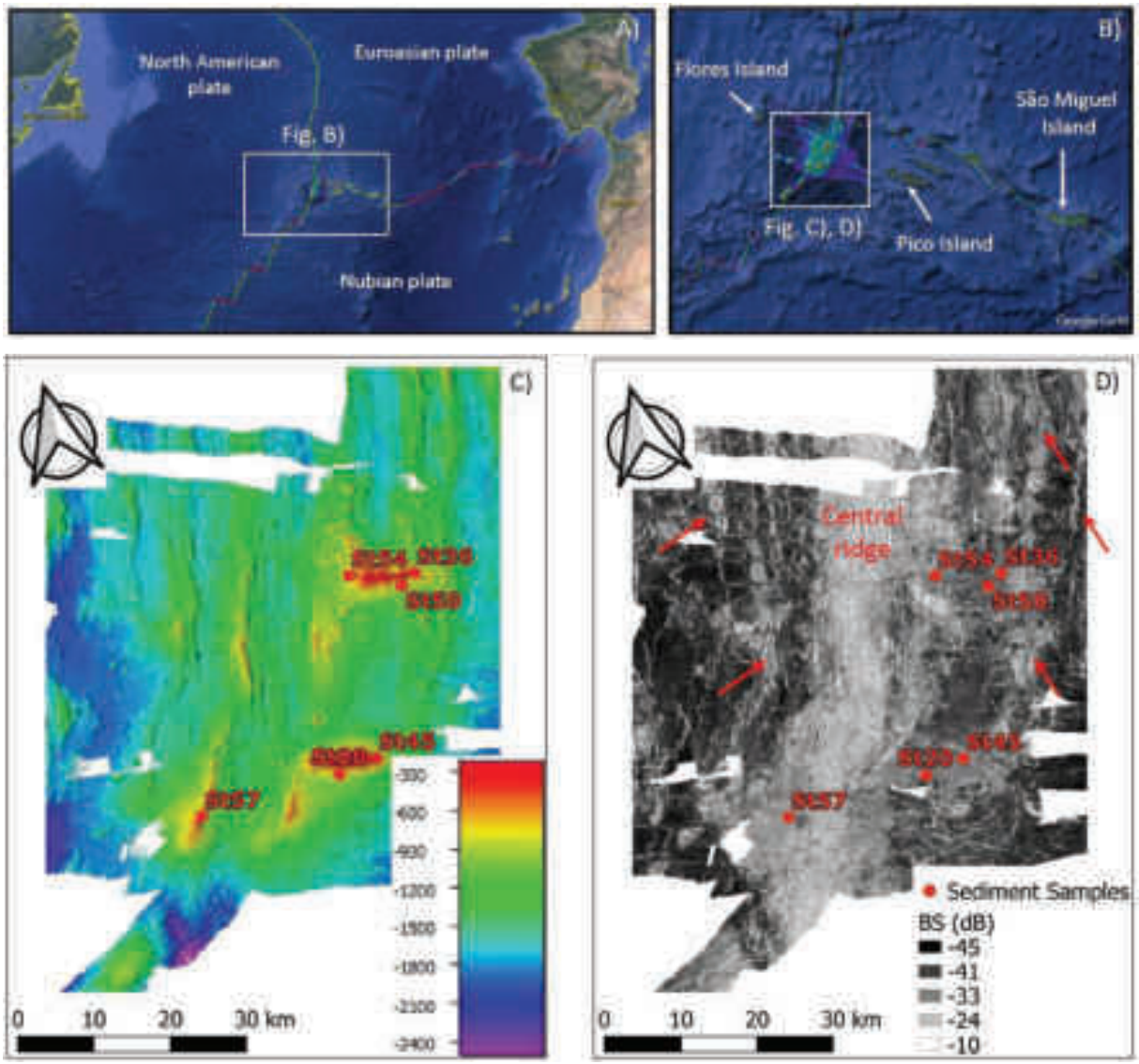


Fig. 1. A) and B) Location of the study area within the Azores region. C) Bathymetric surface from the EM 120 and EM 710 MBES. D) Backscatter strength (BS) mosaic from the EM120 (-45 dB, dark to -10 dB, light tones). Red circles are the location of sediment samples. Red arrows indicate the regions with higher values of BS.

2. DATA AND METHODS

The Blue Azores expedition collected acoustic data with a Kongsberg EM 120 (12 kHz) and EM 710 (70 – 100 kHz) MBES. Sediment samples and images were acquired by the ROV LUSO between depths of 250 and 800 m. We used the acoustic backscatter data acquired by the MBES to produce a bathymetric surface for morphological interpretation, a backscatter strength mosaic (BS) and Angular Range Analysis technique (ARA) for sediment characterization.

The multibeam surveys were positioned through an inertial sensor and a Global Navigation Satellite System (GNSS) in differential mode and processed using the Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator algorithm (Calder and Mayer, 2003) implemented in QPS Quimera software. The spatial resolution of the bathymetry surface was produced with cell-size of 35 m.

The radiometric, geometric and seabed slope variation corrections were also applied to the raw data with the Geocoder algorithm (Fonseca and Calder, 2005) implemented in QPS FMGT software to

compute backscatter strength (BS) mosaics, allowing the observation of different acoustic responses due to the roughness of the material between the water-seabed interface. Usually this result is correlated through grain size of sediments or sediment type.



Fig. 2. Aggregation of large colonies of the octocoral species Paragorgia cf. johnsoni and Paragorgia cf. arborea. © ROV Luso / EMEPC / 2018 Oceano Azul Expedition, organized by Oceano Azul Foundation & partners.

Sediment samples and images were used for the radiometric calibration of the transducers (Santos *et al*., 2018), which in turn, were also used in the backscatter processing. This calibration is essential to obtain the same acoustic response for equal seafloor type since the transducer system used here have never been calibrated.

The calibration of the transducers consists in determine the difference between the acoustic response curve register by the MBES and the acoustic response computed by a geomodel (Jackson *et al.*, 1986) for a seafloor type known (Santos *et al.*, 2018).

The ARA technique analyses the acoustic response curve (ARC) determined from a set of successive acoustic pulses (in FMGT, 30 pulses) of each side of the MBES (port and starboard), to decrease the acoustic noise that affects the performance of the geoacoustic model inversion (Fonseca and Mayer, 2007). The ARA technique characterizes the sediment type by analysing the three zones of the ARC: near (0° - 25°, angle of incidence), far (25° - 55°) and out of range (55° - 90°), where different curve configurations (ARC) reflect different bottom materials (Fonseca and Mayer, 2007). The seabed properties are determined through the inversion of the geomodel.

3. RESULTS

The seafloor depth ranges from 150 m to 2400 m (Fig. 1 C), and reveals typical morphologies of a ridge region, with several fractures and volcanism along them. The Gigante complex constitutes a set of seamounts produced by fissural volcanism along the central ridge and transform faults and harbours rich and unique benthic communities, many of those considered Vulnerable Marine Ecosystems (Fig.1).

The BS mosaic revealed higher values mainly in central ridge and in parallel ridges where probably is located rocky seafloor and/or coarse sediments (Fig. 1 D, red arrows). The surrounded region, presents low BS values that usually are correlated to finer sediments (dark areas in Fig. 1 D), where possibly is located the best environmental condition for the deposition of the finer sediments.

The sediment samples collected by ROV LUSO nearby of the seamounts (Fig. 1 D) and analysed in laboratory revealed that in general the samples were classified as sand, sandy gravel and gravelly sand.

The remote characterization through ARA technique revealed that a great variety of sediment types cover the Gigante complex (Fig. 3), where in central ridge is located the coarse sediments and/or rocky seafloor and that region is surrounded by sands, silts and clays. The majority of the silts/clays are located in deeper regions, inside of basins (Fig. 1 C) in north-western part of the central ridge, constrained in a strip of ~20 km width and the majority of the sands/silts are located at south-eastern of the central ridge, also constrained in a strip of ~20 km width.

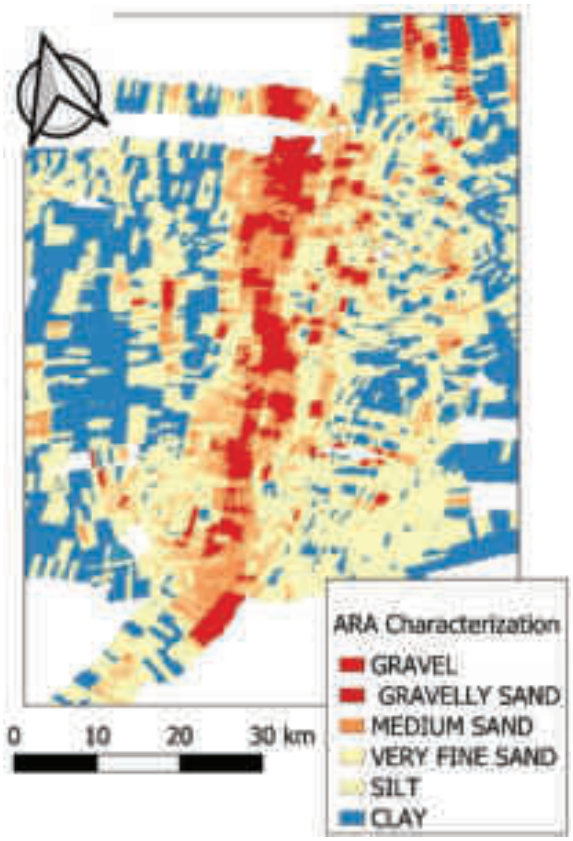


Fig. 3. Remote Characterization through ARA technique.

4. CONCLUSION

This work allowed to study a very interesting region by their unique morphology in the Mid-Atlantic Ridge, where was found a hydrothermal vent field.

The high resolution of the bathymetry and BS data revealed in detail the seafloor of the GSC.

The BS mosaic revealed the spatial distribution of the main sediment deposits, where the coarser sediments (rock and gravel) are located in central and parallel ridges. On the other hand, the finer sediments are constrained in deeper regions, inside of basins.

The ARA result showed that along a strip of ~20 km in the north-western region of the central ridge are located the majority of the silts/clays and in south-eastern part is located the sands/silts.

Acknowledgements

This work contributes to the Blue Azores project (Fundação Oceano Azul), the PO2020 MapGES project (Acores-01-0145-FEDER-000056), and to the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreements No 678760 (ATLAS) and No 818123 (iAtlantic). We also acknowledge funds and support from the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) through the strategic project (UID/05634/2020) granted to OKEANOS and. TM was additionally supported by Program Investigador FCT (IF/01194/2013), IFCT Exploratory Project (IF/01194/2013/CP1199/CT0002) from the Fundação para a Ciência e Tecnologia (POPH and QREN). GHT was supported by the Azores Government through DRTC (M3.1.a/F/052/2015).

REFERENCES

Calder, B.R., Mayer, L.A., (2003). Automatic processing of high-rate, high-density multibeam echosounder data. Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 4 (6).

FAO. (2009). International guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas. Rome, FAO.

Fonseca, L. and Calder, B. (2005). Geocoder: an efficient backscatter map constructor. *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference* 2005, San Diego. (Online). Available: http://ushydro.thsoa.org/hy05/08_3.pdf.

Fonseca, L. and Mayer, L. (2007). Remote estimation of surficial seafloor properties through the application Angular Range Analysis to multibeam sonar data. *Marine Geophysical Researches*, 28(2), 119-126. Doi:10.1007/s11001-007-9019-4.

Fonseca, L., Calder, B., (2005). Geocoder: An efficient backscatter map constructor. In: Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2005, San Diego, (Online). Available:http://ushydro.thsoa.org/hy05/08_3.pdf .

Georgian, S. E., Shedd, W. and Cordes, E. E. (2014). High-resolution ecological niche modelling of the cold-water coral Lophelia pertusa in the Gulf of Mexico. *Mar. Ecol.* Prog. Ser. 506, 145–161. Doi: 10.3354/meps10816

Georgian, S., Shedd, W., & Cordes, E. (2014). High-resolution ecological niche modelling of the cold-water coral Lophelia pertusa in the Gulf of Mexico. Marine Ecology Progress Series, 506, 145–161. doi: 10.3354/meps10816

Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I. T., … Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. Ecology Letters, 16(12), 1424–1435. doi: 10.1111/ele.12189

Jackson, D.R., Winebrenner, D.P., Ishimaru, A., 1986. Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscattering. J. Acoust. Soc. Am. 79 (5), 1410–1422. http://dx.doi.org/10.1121/1.393669.

Milligan, R. J., Spence, G., Roberts, J. M. and Bailey, D. M. (2016). Fish communities associated with cold-water corals vary with depth and substratum type. *Deep-Sea Res*. I, 14 (2016), pp. 43-54.

Parra, H. E., Pham, C. K., Menezes, G. M., Rosa, A., Tempera, F., and Morato, T. (2017). Predictive modeling of deep-sea fish distribution in the Azores. *Deep Sea Research* Part II: Topical Studies in Oceanography, 145, 49-60.

Santos, R., Rodrigues, A., and Quartau, R. (2018) Acoustic remote characterization of seabed sediments using the Angular Range Analysis technique: The inlet channel of Tagus River estuary (Portugal). *Marine Geology*, 400, 60-75.

Analysis of S. João da Caparica beach vulnerability to a maritime storm event

Oliveira, F. S. B. F. (1); Fortunato, A. B. (1); Freire, P. M. S. (1)

(1) Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. foliveira@lnec.pt.

Abstract: The morphological response of the S. João da Caparica beach, Almada, to the maritime storm Hercules that occurred in January/2014, was studied through mathematical modelling, for three of twelve topo-bathymetric configurations surveyed between 2008 and 2017: the two with the lowest and the one with the highest volume of sediment in the topographic part. This study aimed to quantify indicators of beach vulnerability, such as sand volume above three reference vertical levels, average and maximum retreat of two reference isobaths and maximum topo-bathymetric lowering, in order to provide guidance for future nourishment interventions. Hydrodynamic models at regional and intermediate scales were used to determine the forcing of the morphodynamic local model applied, XBeach. Besides the beach vulnerability indicators, the results revealed that the morphological configuration of the submerged zone plays an important role in the beach response when submitted to a storm with the characteristics of Hercules.

Key words: Costa da Caparica beach, extreme maritime event, sediment dynamics.

1. INTRODUCTION

This study is part of a set of morphodynamic coastal studies based on numerical modelling developed to provide guidance for optimized decision-making on future coastal protection interventions in Costa da Caparica, Portugal.

The Costa da Caparica coastal stretch suffered relevant morphological variations since 1929, with the retreat of the spit that initially extended to the Bugio lighthouse and the retreat of the coastline in the maritime front of Costa da Caparica. The major structural interventions of coastal defense were built between 1959 and 1971. Since then until the 2000/2001 maritime winter the stretch was fairly stable. However, after this date beach erosion and structural overtopping imposed emergency interventions, such as the mechanical ripping of sand from the beach face to reinforce the dune and the repair of the damaged defense structures, in the winters of 2002/2003, 2003/2004 and 2006/2007. Between 2007 and 2014 3.5 million m^3 of sand were deposited in the emerged part of the beach.

The objective of this specific study was to quantify the morphological response of the Costa da Caparica beach to an extreme maritime storm for different initial morphologic states of the beach. In particular, to evaluate the beach vulnerability indicators, namely the coastline retreat, the surface lowering and the volume of sand loss in between vertical levels.

The total study zone (Figure 1) includes the coastal stretch limited at NW by the groyne EV1 and at SE by the SE extreme of the alongshore defense structure of Costa da Caparica. However, this paper focuses only in S. João da Caparica, the 1.4 km long beach, located at the NE extreme of the stretch, between groynes EV1 and EC7, which are 360 and 140 m long, respectively. The coastline of S. João da Caparica has an average alignment of 140ºN in the NW and central sectors and of 150ºN in the SE sector. The NW and central sectors have a dune system that reaches an elevation of about 11 m above the zero of the nautical vertical reference level, ZH. The SE sector has a 460 m long alongshore defense structure, which limits the expansion of the natural beach profile.

Silveira *et al*. (2013) quantified the impact of a storm event in S. João da Caparica on 19/Jan/2013 through high resolution topographic surveys. These surveys, performed on the 2/Dez/2012 and 21/Jan/2013, revealed that during this period the erosion between the Mean Sea Level (MSL) and High Equinoctial Spring Tidal Level was $50x10^3$ m^3, and that the total extent of the coastline retreated, with average magnitude 20 m and maximum value 41 m in the SW sector.

2. METODOLOGY AND DATA

2.1 Numerical modelling

The numerical modelling of the beach morphodynamics was performed with the 2DH Surfbeat mode of the XBeach model (Roelvink *et al*., 2009), which accounts for infragravity waves and dune avalanche, among other mechanisms determinant during a storm event. The evolution of the topo-bathymetry in the active zone of the beach, which includes the surf zone, the beach face, the berm and the dune, was simulated for three initial

morphological states of the beach. A staggered grid with a uniform grid size of 5 m in both directions was applied, implemented in a coordinate system where the x-coordinate is oriented approximately perpendicular to the coastline.

The XBeach model was forced at the offshore boundary with hydrodynamic data (sea level and waves) obtained through the application of hydrodynamic numerical models, previously calibrated and validated, at regional and intermediate scale. The tide and the wave generation and propagation were simulated at regional scale in the NE Atlantic Ocean with respectively the SCHISM model (Fortunato *et al*., 2019) and the WaveWatchIII model forced with predictions of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (Fortunato *et al*., 2017a). The results of these two models were then used do simulate the hydrodynamics at an intermediate scale with the SCHISM-WWM model, previously calibrated and validated (Fortunato *et al*., 2017b), in a domain that includes the full Tejo estuary and an area of the coastal zone adjacent to the mouth. The tide, the atmospheric forcing (wind and atmospheric pressure), the waves and the fluvial discharge were considered.



Fig. 1. Aerial photograph of S. João da Caparica beach between groynes EV1 and EC7. Location of profiles PCC3, PCC5 and PCC7, used in the calibration of XBeach. Points P2, P3 and P4 of hydrodynamic data (© Google Earth).

2.2 Topo-bathymetry

Three initial morphological states of the beach, two unfavorable (post-storm) and one favorable (post-nourishment) were defined based on the analysis of twelve topo-bathymetric surveys of the total study zone (not exclusively the S. João da Caparica beach) performed between Jul-Aug/2008 and Dez/2017. Considering the survey of Jul-Aug/2008 as a reference, the volumes of sand above the levels -9, -1 and +2 m ZH were calculated for each survey.

The DTM with the lowest and second lowest volume of sand above the levels -1 and +2 m ZH, which correspond to the surveys of Jul-Aug/2008 and Jul/2014 respectively, were considered the most unfavorable and the second most unfavorable morphological states and designated as Case I and Case II. In contrast, the DTM with the largest volume of sand above the levels -1 and +2 m ZH, which corresponds to the survey of Nov/2008, was considered the favorable morphological state and designated as Case III. The grain size diameters D_{50} and D_{90} were considered 0.3 mm based on field data.

2.3 Maritime storm

The Hercules storm, which occurred in the first fortnight of January/2014, was considered. The duration of the storm was taken as the time period between the dates of the first and the last value of a series of Hs > 4.5 m with minimum length 24 h, provided that during the following 48 h no values of Hs > 4.5 m occur. For the Hercules storm, the duration was 93 h and 10 min (3,88 days), between 2014-01-04 04:00 and 2014-01-08 01:10 (yyyy-mm-dd hh:mm). The storm registered two peaks of Hs offshore Costa da Caparica, the first equal to 5.91 m and the second equal 7.05 m (Figure 2).

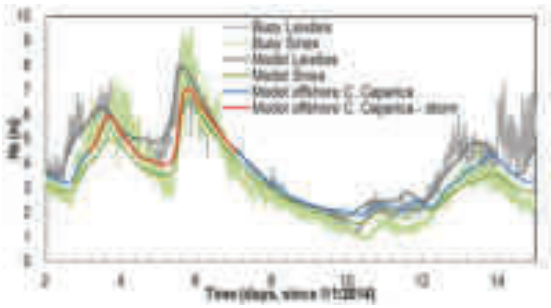


Fig. 2. Significant wave height, Hs, in the first fortnight of Jan/2014: Leixões and Sines buoys data and WW3 model results, and offshore Costa da Caparica SCHISM-WWM model results.

2.4 Models validation

The period of validation of the morphodynamic model was two months, 1/Set - 31/Oct/2014, which was the shortest period of time between topo-bathymetric surveys of the total study zone. The hydrodynamic forcing was provided by the intermediate scale model (SCHISM-WWM), which was validated against buoy data from the Lisbon Port Authority (Figure 3). The XBeach model (2DH version with two cells alongshore) was applied for three equidistant profiles, PCC3, PCC5 and PCC7 (Figure 1). Its performance was evaluated through i) impact indicators, such as the volume of erosion per meter of alongshore beach length and the horizontal beach retreat at levels -1, 0 and +2 m ZH; and ii) an error indicator, the Brier Skill Score (BSS) proposed by Van Rijn *et al*. (2003). The evolution of PCC5 in the central sector can be seen in Figure 4. According to the value of the topo-bathymetric survey error, δ, considered δ=0.15/0.3 m, the classification of the

model performance varies between reasonable and good: for profile PCC3 is reasonable, BSS=0.5/0.6, and for profiles PCC5 and PCC7 is good, BSS=0.7/0.8.

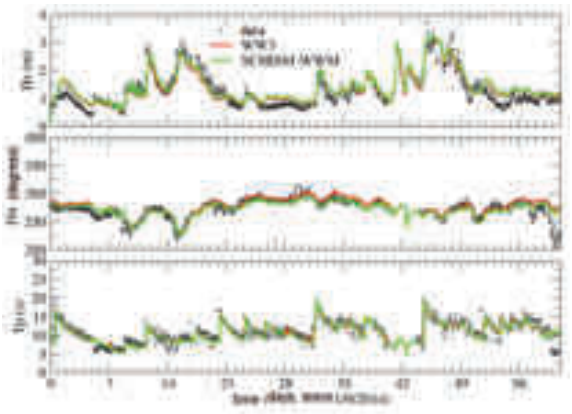


Fig. 3. Validation of the wave climate models: hindcast values against buoy data (Hs, above; Dir, middle; and Tp, below).

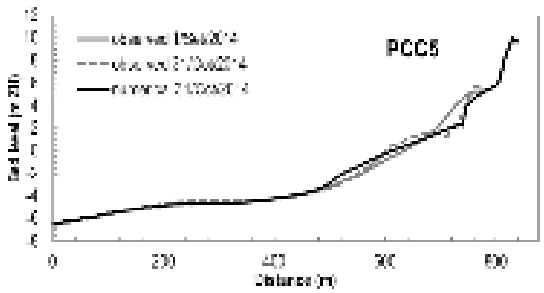


Fig. 4. Validation of the morphodynamic model for profile PCC5.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Wave climate and sea level

The wave parameters and sea level series forced at the offshore boundary of the morphodynamic model were obtained from the hydrodynamic model at intermediate scale in points P2, P3 and P4 pointed out in Figure 1. They highlight that the NW sector of the S. João da Caparica beach is slightly more protected from higher waves than the central and SW sectors and also that the incident waves in the NE sector are more oblique relative to the cross-shore direction than in the central and SW sectors (Figure 5). The tidal modulation of the wave direction is significant (Figure 5), and justifies the use of a coupled tide-wave model of the estuary to provide the boundary conditions for Xbeach.

3.2 Morphodynamics and vulnerability

The 2DH-morphodynamic model simulations of the impact of Hercules storm in S. João da Caparica beach revealed the following:

- The storm caused morphological variations in all the alongshore beach extension. It smoothed out the bed irregularities by filling local depressions (e.g. of Case I in Figure 6).
- The largest lowerings of the beach occurred in front of the alongshore defence located at the SW sector and at the NW extreme of the beach. Large values of lowering were also observed at the head's toe of EC7 and at the toe of the offshore half of EC1 (e.g. of Case I in Figure 6).
- Despite the absence of a correlation between favorability of the morphological state and the erosion or the residual volumes, Case III remains as the one with larger sand volume above levels -1 and +2 m ZH after the storm (e.g. of cross-shore profile located at the central section in Figure 7).
- The erosion and residual volumes above the -1, 0 and +2 m ZH levels were larger in Case III than in Case I (Table I). Since the lower part of the beach is similar in both cases (Figure 7), the cause of the different morphological beach response was the larger volume of sand available in the upper part of the beach in Case III that was provided by the 1 million m^3 nourishment of Aug/2008.
- The erosion and residual volumes above -1 m ZH in Case II are the highest of all cases. However, the erosion is predominantly located between level -1 and 0 m ZH. Above +2 m ZH the residual volume is the lowest of all cases (Table I). When comparing with Case I it can be concluded that this is due to two factors: the smoothest slope of the active zone, which slows down the energy dissipation (spilling breaker type), and the highest sand volumes above -1 and +2 m ZH levels of Case II (Figure 7).
- The erosion of the upper beach caused a generalised retreat of the isobath +2 m ZH, with maximum value 21 m in Case III, and a generalised advance of the isobath 0 m ZH, with maximum value of 27 m in Case II.

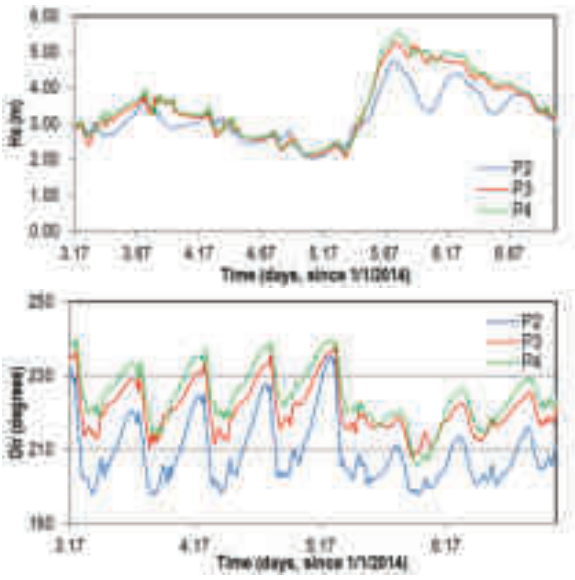


Fig. 5. Wave climate parameters series at the entrance of the morphodynamic model: significant wave height, Hs (above), and average direction, Dir (below).

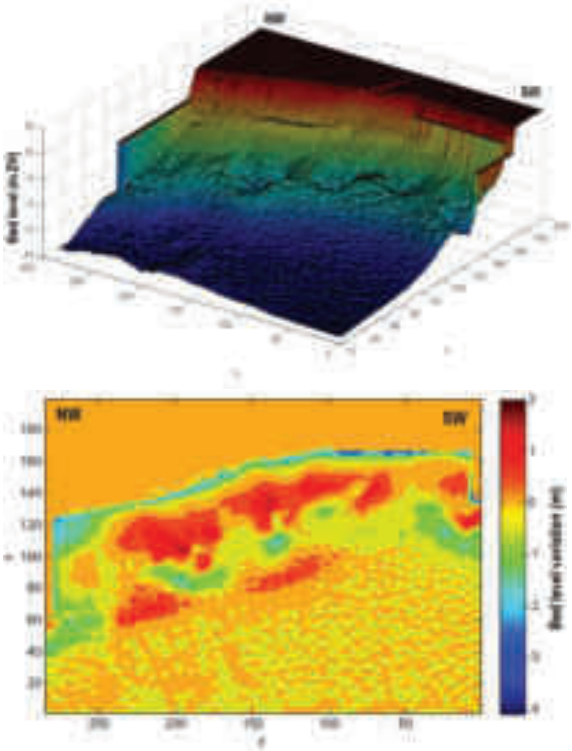


Fig. 6. Morphodynamic model results for Case I: pre-storm topo-bathymetry (above) and morphologic variation (below).

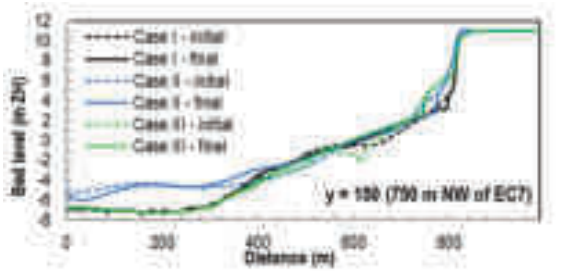


Fig. 7. Morphodynamic model results for Cases I, II and III: morphologic variation at a profile located in the central beach sector (750 m NW of EC7).

Table. I. Erosion, sedimentation and residual area and volume above levels -1, 0 and +2 m ZH in Cases I, II and III.

Zone	Case	Area (m^2)	Sedimentation volume (m^3) *(a)*	Erosion volume (m^3) *(b)*	Residual volume (m^3) *(a-b)*
Above -1 m ZH	I	605 020	71 737	78 913	-7 176
	II	644 503	64 212	112 122	-47 910
	III	628 999	65 688	91 841	-26 153
Above ZH	I	504 795	35 159	66 055	-30 896
	II	555 759	40 195	76 930	-36 735
	III	547 729	28 767	80 491	-51 724
Above +2 m ZH	I	407 121	817	56 910	-56 093
	II	403 569	795	37 524	-36 729
	III	431 710	303	66 726	-66 423

4. CONCLUSION

The study aimed at simulating the response of the S. João da Caparica beach to the Hercules storm for three morphological states, defined based on the analysis of twelve topo-bathymetric surveys of the active zone. The performance of the morphodynamic model was evaluated as good.

A set of parameters that characterise the impact of the storm on the morphology was calculated for the three cases. Among those parameters, it was calculated the residual erosion volume above the +2 m ZH level: 56, 37 and 66 thousand m^3 of sand. These values agree with the measured 50 thousand m^3 caused by the storm that occurred on 19/Jan/2013. The results also revealed that the morphological features of the active zone, such as the slope of the submerged zone, which affects the rate of the energy dissipation, play an important role in the beach response.

Acknowledgements

The study described was supported by Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

REFERENCES

Silveira, T.M., Sousa, H., Carapuço, A.M., Diogo, Z.S., Silva, A.N., Taborda, R., and Andrade, C.F. (2013). Estudo de caso da Costa da Caparica. Caracterização das evoluções morfológicas e volumétricas da praia de S. João da Caparica. Entregável 2.3.b. Relatório da FCUL, 24 p.

Fortunato, A.B, Oliveira, A., Rogeiro, J., Tavares da Costa, R., Gomes, J.L., Li, K., De Jesus, G., Freire, P., Rilo, A., Mendes, A., Rodrigues and M., and Azevedo, A. (2017a). Operational forecast framework applied to extreme sea levels at regional and local scales. *Journal of Operational Oceanography*, 10, 1: 1-15.

Fortunato, A.B, Freire, P., Bertin, X., Rodrigues, M., Ferreira, J, Liberato, M.L. (2017b). A numerical study of the February 15, 1941 storm in the Tagus estuary. *Continental Shelf Research*, 144, 50-64.

Fortunato, A.B., Meredith, E.P., Rodrigues, M., Freire, P. and Feldmann, H. (2019). Near-future changes in storm surges along the Atlantic Iberian coast. *Natural Hazards*, 98, 1003-1020.

Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., Mccall R., and Lescinsky, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152.

Van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R., Grasmeijer, B., Sutherland, J., Pan, S. and Sierra, J.P. (2003). The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models. *Coastal Engineering*, 47, 295-327.

Avaliação do desgaste do pigmento em traçadores magnéticos

Romão, S. (1,2); Taborda, R. (1); Cascalho, J. (1); Fernandes, A. F. (3); Duarte, J. (3); Rato, D. (1); Silva, P. A. (2)

(1) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. srmr@ua.pt.

(2) Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro.

(3) Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Resumo: O uso de traçadores sedimentares fluorescentes é dos métodos mais eficazes na medição do transporte sedimentar, mas tem o inconveniente de requerer um elevado esforço na aquisição e processamentos dos dados. A utilização de traçadores magnéticos poderá revelar-se uma alternativa interessante, uma vez que a medição *in situ* da dispersão do traçador pode ser realizada no campo através de métodos indiretos que não necessitam de recolha de amostra. Apesar de já existirem alguns trabalhos sobre esta utilização, ainda existe um conhecimento muito reduzido sobre a durabilidade da marcação magnética das partículas arenosas. Este trabalho avalia a resistência da tinta magnética em sedimentos arenosos face à ação do desgaste hidráulico. Os testes de resistência foram realizados num tambor com areia marcada em água e em movimento circular durante 8 e 24 horas. Os resultados mostram que existe alguma perda de pigmento devido ao desgaste, mas a redução da suscetibilidade magnética entre amostras (sujeitas e não sujeitas ao desgaste) é pouco significativa. As observações à lupa não detetaram diferenças relevantes no padrão de distribuição do pigmento sobre a superfície das partículas. Conclui-se que o uso de tinta magnética na marcação de partículas apresenta boa resistência ao desgaste hidráulico e, portanto, os traçadores magnéticos podem ser utilizados como indicadores da dinâmica sedimentar costeira, principalmente em estudos que incidam sobre escalas espaciais/temporais relativamente curtas (da ordem dos quilómetros/dias).

Palavras-chave: dinâmica costeira, suscetibilidade magnética, traçadores magnéticos, transporte sedimentar.

1. INTRODUÇÃO

Os traçadores sedimentares constituem uma ferramenta poderosa na gestão das zonas costeiras porque permitem avaliar e medir o transporte sedimentar de uma forma prática. Vários métodos para marcar sedimentos foram desenvolvidos, mas foi sobretudo nas décadas de 50 e 60 que houve um desenvolvimento significativo das técnicas associadas à utilização dos traçadores (Black *et al.*, 2007).

Os traçadores magnéticos foram inicialmente desenvolvidos na década de 60 (Grisseier e Hoeg, 1964; Pantin, 1961), através da magnetização de areia por processos de redução a elevadas temperaturas que convertem pequenas quantidades de compostos de ferro presentes na superfície dos grãos em óxidos magnéticos, utilizando cimento e areia magnética que se envolviam e depois esmagava-se até obter a granulometria pretendida ou utilizando areia magnética natural. Mais recentemente, o uso de pigmento magnético para marcação de sedimentos foi implementado pela primeira vez pela Partrac Ltd., UK (Black *et al*., 2004). Os pigmentos magnéticos conferem um carácter magnético à tinta, que poderá ser detetado no campo com equipamentos que medem propriedades magnéticas. A propriedade mais utilizada nestes casos é a suscetibilidade magnética (SM), propriedade que avalia a capacidade de um dado material ser magnetizável.

Uma das maiores vantagens da utilização do traçador magnético é a possibilidade de fazer medições *in situ* sem recolha de amostra, tornando o processo de obtenção de dados de dispersão do traçador mais célere comparativamente à utilização de outros tipos de traçadores (por exemplo, fluorescentes).

A preparação e a utilização de areia marcada deve ter em conta algumas condições, nomeadamente: (1) deve apresentar as mesmas características texturais da areia natural; (2) deve ser facilmente distinguível da areia natural; (3) o revestimento da areia deve ser resistente à água, a reações químicas e à abrasão mecânica. Todavia, algumas partículas de areia natural poderão apresentar algumas propriedades que as tornam semelhantes às partículas marcadas. É o caso, por exemplo, da utilização de areia marcada com traçador fluorescente que é facilmente confundida com a presença de partículas com luminescência natural, ou, também, a presença de partículas de magnetite cujo sinal de suscetibilidade magnética facilmente se confunde com o sinal oriundo de partículas cobertas por tinta magnética (Black *et al.*, 2004; Yasso, 1966).

No entanto, para traçadores magnéticos e, sobretudo, para a magnetização de areia através de tinta magnética, não há estudos suficientes que avaliem as

alterações nas propriedades das partículas quando marcadas.
O presente trabalho utiliza a técnica desenvolvida pela Partrac Ltd., para fazer a marcação das partículas arenosas. No entanto, como há poucos estudos que refiram a utilização desta metodologia, desconhece-se em que medida há alterações nas propriedades físicas dos sedimentos e se a tinta resiste ao desgaste hidráulico provocado pelo movimento dos grãos. Yasso (1966) realizou um estudo com várias tintas fluorescentes comercializadas e concluiu que estas não se misturavam com a água. No entanto, esta conclusão é dificilmente extrapolável para outras tintas ou tipo de pintura.
Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a resistência da tinta magnética ao desgaste hidráulico e ao desgaste mecânico promovido pela interação entre as partículas.

2. METODOLOGIA

2.1. Pintura do traçador

No âmbito do projeto Sandtrack realizou-se uma experiência de traçadores na praia da Costinha, Costa Nova, Aveiro, em julho de 2019. Foram depositados, na praia submersa, cerca de 1000 kg de traçador magnético e fez-se a monitorização da sua dispersão com a medição da suscetibilidade magnética (SM) *in situ* e no laboratório com base em amostras recolhidas ao longo da campanha (8 a 12 de julho).
A areia utilizada foi proveniente do depósito de dragados do Porto de Aveiro e os seus grãos têm uma dimensão média de 293.8 µm. Para marcação e magnetização da areia utilizou-se a tinta magnética INFANTIL IMAN da APL®. A tinta é de base aquosa e é constituída por cargas magnéticas não-oxidáveis, pelo que contém propriedades que a permitem ser atraída por ímanes.
A areia foi pintada em duas betoneiras e, nesta operação, foram utilizados cerca de 59 l de tinta a uma proporção de 10% em volume (Fig. 1). Por cada operação de pintura foram utilizados cerca de 50 kg de areia que levaram cerca de 8h a secar.



Fig. 1. Pintura do traçador magnético.

O movimento constante do tambor da misturadora é fundamental para minimizar a agregação de partículas de areia durante a pintura e a secagem. No entanto, há quase sempre a formação de alguns agregados que devem ser removidos no final por peneiração. Após pintura e peneiração do traçador com uma malha de 2000 µm, o diâmetro médio das partículas ficou igual a 354.3 µm. Verifica-se assim que houve um pequeno aumento da dimensão média das partículas devido à presença de agregados de pequena dimensão que não foram removidos e ao efeito decorrente da cobertura da superfície das partículas pela tinta magnética.

2.2. Teste de resistência à abrasão

O uso de areias marcadas para estudos de transporte sedimentar pressupõe que a tinta utilizada deva ser resistente aos processos abrasivos resultantes dos choques entre as partículas quando elas se movimentam. Pelo facto de a tinta utilizada ser de base aquosa, uma das principais preocupações na sua utilização seria saber se a sua resistência era compatível com o efeito abrasivo das partículas arenosas em ambiente marinho de elevada energia. Para testar a resistência foram realizados testes em laboratório com o recurso a um equipamento composto por tambores de borracha sobre dois cilindros em rotação (Fig. 2).
Para o teste de resistência à abrasão, a areia foi, novamente, crivada utilizando um crivo de 1000 µm para eliminar os agregados maiores e, outro, de 63 µm para eliminar a fração fina composta sobretudo por pigmento magnético solto. Após a operação de crivagem mediu-se a SM do traçador com o sensor *Bartington MS2B*. Foram realizadas várias medições para determinar o valor médio de SM da cada uma das 2 amostras utilizadas (com cerca de 70 g cada). Colocou-se cada amostra num tambor e cobriu-se com cerca de 250 ml de água desionizada de forma a que a amostra durante o movimento de rotação ficasse completamente imersa. Os 2 tambores ficaram em movimento de rotação durante cerca de 8h e 24h, respetivamente.



Fig. 2. Equipamento utilizado nos testes de desgaste.

Após concluir o respetivo número de horas em rotação, decantou-se a amostra utilizando um papel de filtro (Fig. 3). Secou-se a amostra na estufa a 60 ˚C durante 3 dias mais o resíduo que ficou no papel de filtro, bem como, a água filtrada numa estufa a cerca de 105 ˚C. Depois das amostras estarem secas, fez-se a crivagem do traçador utilizando, novamente, um

crivo de 63 µm para separar a fração fina resultante do desgaste dos grãos no tambor. De seguida mediram-se as massas de cada componente: resíduo seco no papel de filtro, resíduo seco na água, fração fina e fração retida no peneiro de 63 µm.



Fig. 3. Tambor após rotação de 24h (à esquerda) e decantação da amostra para medição do resíduo (à direita).

No final mediu-se novamente a SM da fração retida no crivo de 63 µm, para averiguar se houve variação na SM das amostras. Finalmente fotografaram-se as amostras à lupa para observação de alterações na cobertura de tinta.

A amostra que permaneceu 8 h em rotação, após terem sido feitas as medições realizadas, foi colocada novamente mais 16 h em rotação até perfazer 24 h em movimento. De seguida, repetiu-se o procedimento descrito anteriormente para medição da massa perdida e da SM.

3. RESULTADOS

A análise ao teste de resistência à abrasão é feita por três etapas. Numa primeira etapa é medida a variação da massa de cada amostra retida no filtro, na água e na que passou pelo crivo de 63 µm. Numa segunda é medida a variação na SM e, numa terceira, procedeu-se à observação das amostras utilizando uma lupa binocular.

A Tabela I apresenta os resultados obtidos nos testes de desgaste, da massa perdida. A amostra ST24, que permaneceu 24 h consecutivas em rotação, perdeu cerca de 1.14 % da massa inicial, o que corresponde a uma massa de 0.83 g. Este valor contabiliza o resíduo presente na água após evaporação, o material que ficou preso no filtro e a fração fina do sedimento. A amostra ST8, que permaneceu 8 h em rotação, perdeu cerca de 0.89 g a que corresponde a 1.33 % da massa inicial. A mesma amostra, depois de estar mais 16 h em rotação perdeu apenas 0.29 g, ou seja, após 24 h a perda em massa foi de 1.14 g, isto é, 1.70 % da massa inicial. Assim, cerca de dois terços da perda de massa ocorreram durante as primeiras 8h.

A avaliação do desgaste através da perda de massa da amostra apresenta incertezas. Considera-se que a perda de massa está associada a pigmento que se soltou dos grãos durante o teste, no entanto, é igualmente possível que haja perda de fração fina devido ao desgaste dos próprios grãos, isto apesar do predomínio de grãos de quartzo nas amostras que são normalmente muito resistentes à abrasão. Por outro lado, também pode ocorrer alguma perda de sedimento resultante do manuseamento da amostra. A presença de pigmento magnético foi possível de detetar com a aproximação de um material metálico ou magnético (Fig. 4).



Fig. 4. Pigmento, proveniente da fração inferior a 63 µm, atraído por um estilete de metal.

Tabela I. Relação das amostras utilizadas com os resultados nos vários testes efetuados. ***Resíduo:*** *corresponde à massa de sedimento que passou o filtro junto com a água* ***Filtro:*** *corresponde à massa de material retida no filtro.* ***Diferença****: corresponde à massa final (fração > 63 µm) menos a massa inicial.*

Amostra	*Massa inicial (g)*	*Dur. (h)*	*Freq. (rpm)*	*Resíduo (g)*	*Filtro (g)*	*Fração < 63 µm (g)*	*Fração > 63 µm (g)*	*Diferença*	
								(g)	*(%)*
ST24	*72.25*	*24*	*65*	*0.28*	*0.08*	*0.18*	*71.42*	*-0.83*	*1.14*
ST8	*66.92*	*8*		*0.22*	*0.08*	*0.12*	*66.03*	*-0.89*	*1.33*
ST16	*66.03*	*16*		*0.10*	*0.05*	*0.02*	*65.74*	*-0.29*	*0.44*
ST8+16	*66.92*	*8+16*		*0.32*	*0.13*	*0.14*	*65.74*	*-1.14*	*1.70*

A Tabela II apresenta os resultados das medições de SM realizadas com o sensor MS2B nas amostras após 24h de desgaste. Verifica-se, de facto, uma diminuição dos valores de SM entre 21 e 25 % face ao valor de SM por massa da amostra original. No entanto, a gama de valores não influência significativamente a capacidade de deteção do traçador em laboratório e diluído em sedimento não

magnetizado.
A comparação do traçador antes e depois do teste de resistência à abrasão, quando se observam as partículas à lupa, é sugestiva de alguma perda do pigmento como cobertura das partículas. Na Fig. 5 é possível visualizar alguns grãos em que se notam as diferenças referidas.

Tabela II. Medições de suscetibilidade magnética (X) das amostras de traçador original e após testes de desgaste.

Amostra	Massa (g)	$\overline{X}$ $(SI \times 10^{-5})$	$\overline{X/g}$ $(SI/g \times 10^{-5})$
ST	33.50	3224.33	96.23
ST 24h	32.78	2375.63	72.46 (-24.7 %)
ST 8+16h	31.70	2398.38	75.64 (-21.4 %)

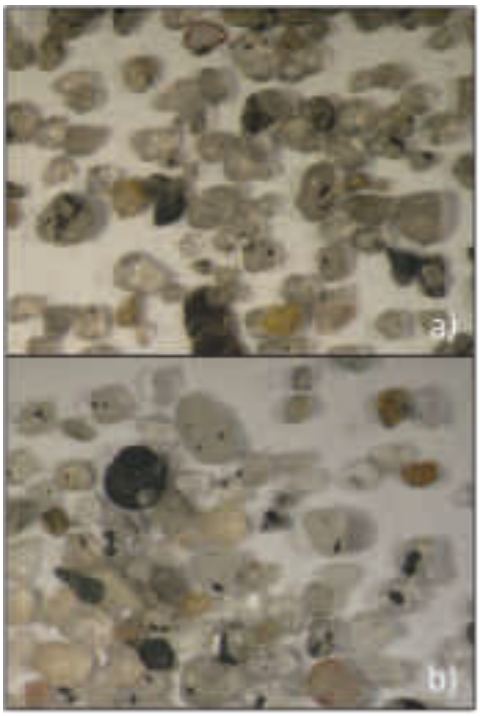


Fig. 5. Amostras de traçador vistas à lupa (a) antes e (b) após 24h de rotação.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O presente trabalho incide sobre a resistência de um tipo de tinta magnética à abrasão, quando aplicada sobre a superfície de grãos arenosos essencialmente de quartzo, sujeitos à ação abrasiva induzida por movimento rotativo.
Os resultados mostram que a redução de massa da amostra é inferior a 2 % nos vários testes realizados e que esta redução tende a diminuir com o tempo. Este resultado é compatível com o despreendimento relativamente rápido da tinta que aderiu mal às partículas arenosas.
A remoção da tinta que cobre as partículas também se encontra refletida nas medições de suscetibilidade magnética com uma redução de 21 a 25 % do sinal. No entanto, em laboratório, estes valores continuam a estar numa gama de intervalos em que é possível detetar o traçador quando diluído com sedimento não magnético. Para tentar correlacionar as condições do teste com as características do transporte, multiplicou-se a frequência de rotação do tambor (65 rpm) pelo perímetro do tambor (0.31 m), tendo-se obtido uma distância percorrida pelos grãos de areia em 24 h de cerca de 29 km. No campo, esta distância é equivalente ao transporte sofrido pelos sedimentos entre a praia da Costa Nova e a da Tocha, considerando um transporte em linha reta, paralelo à costa. No entanto, na maior parte dos estudos, como é o caso da campanha que serviu de base a este trabalho, que durou cerca de uma semana, o traçador deslocou-se consideravelmente menos, pelo que o desgaste no pigmento terá sido inferior ao observado no teste. Ou seja, o teste de resistência à abrasão permite inferir que os resultados obtidos no campo não serão significativamente afetados pelo desgaste no pigmento.

Agradecimentos

Ao professor César Andrade pela disponibilização do equipamento para os testes de desgaste. Ao projeto "Sandtrack", "PTDC/CTA-GEO/31779/2017", financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional de Lisboa e do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização e por fundos nacionais através da FCT/MCTES. A autora S. Romão é financiada por uma bolsa de doutoramento da FCT com referência SFRH/BD/129079/2017.

REFERÊNCIAS

Black, K. S., Athey, S., Wilson, P., e Evans, D. (2004). Particle Tracking: a new tool for coastal zone sediment management. *Littoral 2004*, 20–22. http://www.partrac.com/wp-content/uploads/2016/04/Particle-Tracking-Paper.pdf.

Black, K. S., Athey, S., Wilson, P., e Evans, D. (2007). The use of particle tracking in sediment transport studies: a review. *Journal of the Geological Society of London*, *274*, 73–91. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2007.274.01.09.

Grisseier, H., e Hoeg, S. (1964). Durch ferromagnetika markierte sedimente und moglichkeiten irher automastichen zahlung. *Acta Hydrophysica*, *9*, 35–53.

Pantin, H. M. (1961). Magnetic concrete as an artificial tracer mineral. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, *4*(4), 424–433. https://doi.org/10.1080/00288306.1961.10420131

Yasso, W. E. (1966). Formulation and use of fluorescent tracer coatings in sediment transport studies. *Sedimentology*, *6*(4), 287–301. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1966.tb01896.x.

Comparação entre modelos numéricos na avaliação de eventos de galgamento costeiro – Caso de estudo: Costa da Caparica

Ferreira, A. M. (1); Fortes, C. J. E. M. (1); Reis, M. T. (1); Garzon, J. L. (2)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, aferreira@lnec.pt.

(2) CIMA – Centre for Marine and Environmental Research, FCT, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

Resumo: Este estudo recorre a ferramentas de modelação numérica, XBeach e SWASH, para a avaliação dos eventos de galgamento costeiro devido a tempestades marítimas no troço costeiro urbano da Costa da Caparica, que compreende a estrutura rígida aderente. Faz-se uma análise comparativa entre os modelos, e confronta-se com a informação de eventos documentados (tempestades Hércules e Emma). Ambos os modelos, refletem as variações entre tempestades, com maior intensidade de galgamento para a tempestade mais energética. Existem diferenças entre os modelos, ainda que pouco significativas face aos níveis de perigosidade associados (CEM, 2002; EurOtop, 2018) e ambos apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com os relatos históricos das tempestades analisadas. O modelo XBeach requer um maior tempo de computação, contudo permite obter intervalos de confiança na previsão de galgamentos. Este estudo aponta para a viabilidade da utilização de ambos os modelos na avaliação dos eventos de galgamento costeiro na Costa da Caparica.

Palavras-chave: riscos costeiros, tempestade marítima, SWASH, XBeach.

1. INTRODUÇÃO

As análises e previsão de risco, no domínio costeiro, a galgamento, inundação e erosão, baseiam-se maioritariamente em formulações empíricas. Estes métodos têm a grande vantagem de se obterem resultados num curto espaço de tempo com baixo investimento. No entanto, os resultados são pouco precisos, em grande parte, devido à limitada aplicabilidade de cada formulação empírica. Estas limitações contrastam com a imensa diversidade geomorfológica e de intervenções antrópicas das zonas costeiras e da amplitude das condições de forçamento dos sistemas. É neste âmbito, que os modelos numéricos se apresentam como uma alternativa viável, devido a uma maior capacidade de resolução para a conjugação da diversidade de *inputs*. Ademais, englobam um maior número de processos físicos. O inconveniente de recorrer a estes modelos prende-se com o tempo de computação, barreira esta que tem vindo a diminuir em consequência da evolução da tecnologia, tendo permitido ampliar a sua utilização, e consequente calibração/validação, aumentado a robustez destas ferramentas.

No âmbito do projeto EW-Coast – *Early warning system for coastal risks induced by storms* (EW-Coast, 2019), foram testados dois modelos numéricos para avaliação de eventos de galgamento: SWASH (*Simulating WAves til SHore*) (Zijlema *et al.*, 2011) e XBeach *nonh* (*eXtreme Beach behaviour*), em modo não-hidrostático, (Roelvink *et al.*, 2009), ambos de código aberto, desenvolvidos pela Universidade de Delft. Os modelos foram testados para duas tempestades conhecidas e comparados entre si, para o caso de estudo da Costa da Caparica. Estas tempestades caraterizam-se por diferentes intensidades, de onde resultaram eventos de galgamentos distintos.

2. MODELOS NUMÉRICOS

Atualmente, já foram desenvolvidos vários modelos numéricos de propagação da agitação marítima capazes de resolver a propagação da onda até águas pouco profundas, incluindo fenómenos como a rebentação, o espraio e o galgamento de estruturas costeiras. São exemplos, os modelos utilizados neste estudo, SWASH e XBeach *nonh*, (Roelvink *et al.*, 2009), que são modelos não-hidrostáticos baseados na teoria de onda em condições de água pouco profunda, com a introdução de um termo de momento vertical e um termo correspondente à pressão não-hidrostática na equação de momento horizontal, com aplicabilidade em regiões costeiras. Ambos os modelos são capazes de resolver a transformação e rebentação da onda, as interações não-lineares de onda-onda, onda-correntes e onda-estrutura, assim como a dissipação de energia devido à presença de vegetação.

Uma das características que distingue os modelos é que o SWASH tem uma abordagem determinística, já o XBeach recorre a uma metodologia estocástica (Roo *et al.*, 2015). A modelação SWASH, sob as mesmas condições de *input*, devolve sempre o mesmo resultado – resultado determinístico. O mesmo não acontece no caso da modelação XBeach, através da qual se obtêm resultados diferentes para as mesmas condições de entrada. O XBeach gera uma série

temporal de ondas diferente (*random wave time series*) cada vez que o programa resolve uma simulação, obtendo-se assim um conjunto de resultados que podem ser analisados em termos probabilísticos. O foco deste estudo centra-se nesta diferença de abordagem (determinística *versus* estocástica) para comparação entre os modelos.

3. CASO DE ESTUDO: COSTA DA CAPARICA

A Costa da Caparica situa-se na costa oeste de Portugal continental, imediatamente a sul do estuário exterior do rio Tejo, sendo parte integrante da enseada Caparica – Espichel. O troço em estudo corresponde ao sector urbano da vila da Costa da Caparica, entre o troço sul da praia de São João da Caparica até ao troço norte da Nova Praia (Fig. 1). Este troço costeiro de, aproximadamente, 2.7 km de comprimento longilitoral, com orientação predominantemente NNW-SSE, apresenta-se todo ele intervencionado com uma estrutura de proteção aderente acompanhada de um campo de esporões, criando um conjunto de seis células arnosas confinadas pelas estruturas rígidas.



Fig. 1. Área de estudo da Costa da Caparica (destacado a azul), com indicação do nome das praias abrangidas.

Este troço costeiro encontra-se sob elevada pressão antropogénica, pois compreende praias urbanas e periurbanas de uso intensivo com apoios de praia (bares e restaurantes) junto à linha de costa, acessível durante todo o ano. Sendo esta uma zona de grande vulnerabilidade e exposição a eventos de galgamento e erosão.

4. METODOLOGIA

Optou-se por fazer a modelação em modo 1D considerando um perfil por praia (Fig. 2). Privilegiou-se o 1D, em detrimento de uma possível modelação 2D, pela otimização do tempo de computação. Os perfis estendem-se para o largo até ultrapassarem a batimétrica dos 22 m. Para a obtenção dos dados topo-batimétricos recorreu-se ao acoplamento de diversos modelos batimétricos e topo-batimétricos de modo a cobrir todo o domínio espacial necessário, a saber, modelo batimétrico do Rio Tejo (IH, 2010), modelo topo-batimétrico LiDAR - Modelo Digital do Terreno das Zonas Costeiras de Portugal Continental com resolução de 1 m (DGTerritório, 2011) e levantamentos topográficos realizados no âmbito do projeto EW-Coast (Ferreira *et al.*, 2019).



Fig. 2. Designação dos perfis 1D considerados para aplicação dos modelos numéricos SWASH e XBeach e representação da localização do troço de praia emersa de cada perfil.

Os forçamentos oceanográficos foram obtidos através da propagação dos dados de agitação marítima ao largo, obtidos a partir do modelo global WAM (*ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), para a região costeira recorrendo ao modelo SWAN (*Simulating WAves Nearshore*) (Booij *et al.*, 1999). Os resultados obtidos foram validados através de registos da boia ondógrafo do Porto de Lisboa, localizada nesta região costeira à batimétrica dos 22 m. O nível do mar considerado foi obtido através dos registos do marégrafo de Cascais (DGTerritório, 2020), de modo a abranger as variações impostas pela maré astronómica e pela sobrelevação meteorológica.

No âmbito do projeto EW-Coast foi elaborado um levantamento dos eventos de erosão e/ou galgamento ocorridos na zona de estudo entre 2000 e 2019. No qual, foram consideradas todas as tempestades documentadas em que ocorreram galgamentos, inundação e/ou erosão, contabilizando-se 26 tempestades com consequências na região. Deste levantamento, foram escolhidos dois eventos para este estudo, com diferentes magnitudes (Tabela I), nomeadamente: a tempestade Hércules/Christina que ocorreu em janeiro de 2014, dada a sua magnitude e por se encontrar melhor documentada, que as restantes, (e.g. Santos *et al.*, 2014); e a tempestade Emma, de março de 2018, por ter sido menos energética, permitindo verificar se os modelos estão a reproduzir estas diferenças.

Tabela I. Dados de forçamento dos modelos SWASH e XBeach obtidos através da modelação SWAN na batimétrica dos 22 m. (altura significativa das ondas, Hs, período de pico, Tp, e nível do mar, NM), por tempestade considerada.

	Hs (m)	Tp (s)	NM (m)
Hércules/Chistina	4.53	20	4.05
Emma	4.15	11	4.22

Optou-se por fazer a parametrização dos modelos o mais semelhante possível entre eles. Foram consideradas malhas batimétricas regulares com 0.50 m de resolução, admitindo que não há lugar para variação morfológica (i.e., fundo constante). Foram utilizados dados paramétricos de agitação com aplicação do espectro JONSWAP, com o parâmetro de elevação do pico, γ, de 3.3. O tempo total de simulação de cada corrida foi de 45 minutos, tendo sido considerado para análise os últimos 30 minutos e os primeiros 15 minutos o tempo de estabilização do modelo. No SWASH, o número de *Courant* foi parametrizado entre 0.2 e 0.5, considerado valor máximo aconselhado quando existe interação com estruturas de elevado declive, tal como as estruturas de proteção aderente na zona de estudo. No caso do XBeach, dado o seu caracter estocástico, para cada conjunto de dados de entrada (perfil, condições iniciais e forçamentos) foram feitas 10 simulações, para as quais foi realizada uma análise estatística dos resultados.

A magnitude do galgamento costeiro foi determinada em termos de caudal médio galgado, q, descrito em litros por segundo por metro linear de desenvolvimento do coroamento da estrutura galgada ($l.s^{-1}$ *por* m), considerando os últimos 30 minutos de cada simulação.

Devido à inexistência de medições de caudais de galgamento, a avaliação do desempenho dos modelos é feita com base nos relatos das consequências e comparados com valores críticos de perigosidade existentes na literatura (CEM, 2002; EurOtop, 2018).

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos pelo SWASH e pelo XBeach, Tabela II, reproduzem inequivocamente as diferenças entre as tempestades. As simulações realizadas tendo por base a tempestade Hércules/Christina mostram valores elevados de caudal médio de galgado, sendo estes superiores a 1 $l.s^{-1}$ *por* m. De acordo com a bibliografia (CEM, 2002; EurOtop, 2018), estes caudais de galgamento são muito perigosos para pedestres e para a circulação de veículos, e podem causar danos em estruturas e edifícios. O que assevera com os relatos documentados desta tempestade, as ondas de galgamento ultrapassaram o paredão provocando danos nos apoios de praias, nas estruturas, incluindo danos na calçada do parque estacionamento (zona abrigada pelo paredão). No caso das simulações da tempestade Emma, os perfis onde resultam galgamentos, apresentam magnitudes inferiores às consideradas críticas pelo EurOtop (2018), e, segundo o CEM (2002), estes valores são considerados de baixa perigosidade para circulação de pessoas e veículos, assim como para os edifícios e as infraestruturas. Nesta tempestade não existem registos documentados de danos, apenas alguns vídeos informais partilhados nas redes sociais, onde se pode observar o mar agitado e algum enrocamento de pequena dimensão, trazido pelo mar, no paredão.

Comparando os modelos, pode-se verificar que, para o caso da tempestade mais energética, o modelo SWASH devolve resultados mais conservativos em comparação com os valores médios dos resultados obtidos através do XBeach, tendo atingido uma ordem de grandeza no perfil 07_PNV para a tempestade Hércules/Christina. O mesmo não se verifica no caso da tempestade Emma, onde os valores mais elevados resultaram da modelação XBeach. Na tempestade Emma, menos energética, o troço mais a sul é dado por ambos os modelos como sendo o troço potencialmente mais afetado. Na tempestade Hércules/Christina, não se verifica nenhuma relação espacial entre os modelos.

Na modelação XBeach, para a tempestade Hércules/Christina, obteve-se uma variabilidade dos resultados em cada amostra (dimensão da amostra=10 simulações) que pode atingir duas ordens de grandeza entre os valores máximos e mínimos, e com valores relativamente elevados de desvio padrão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados mostram que ambos os modelos responderam às diferenças impostas pelos forçamentos do sistema, resultando caudais de galgamento de maior magnitude para a tempestade mais energética e menores para a menos energética. Para o evento mais energético, o modelo SWASH

Tabela II. Resultados das simulações XBeach e SWASH, para as tempestades Hércules/Christina e Emma. Caudal médio galgado, q, l.-s[1] por m, ao nível do coroamento da estrutura de proteção aderente em cada perfil modelado.

	Tempestade *Hércules/Christina*					**Tempestade *Emma***				
	SWASH	XBeach				SWASH	XBeach			
	q ($l.s^{-1}$ *por* m)	q ($l.s^{-1}$ *por* m)				q ($l.s^{-1}$ *por* m)	q ($l.s^{-1}$ *por* m)			
		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo		Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
01_SJC	5.92	5.49	4.30	0.62	14.92	0	0.01	0.04	0	0.13
02_NRT	8.10	2.72	1.39	0.63	4.13	0	0	0	0	0
03_STA	5.29	2.92	1.40	0.63	4.93	0	0	0	0	0
04_CDS	7.06	1.44	1.18	0.23	3.65	0	0	0	0	0
05_TRP	4.40	1.35	1.47	0	3.65	0	0	0	0	0
06_DRV	6.19	2.32	1.35	0.48	4.07	0.01	0.04	0.07	0	0.19
07_PNV	11.36	1.76	4.30	0.12	7.29	0.06	0.01	0.04	0	0.12
09_NVP	1.86	1.45	1.26	0.00	3.57	0	0.01	0.03	0	0.09

conduziu a caudais de galgamento mais elevados comparativamente com os resultados obtidos pelo XBeach, contudo apresentam a mesma ordem de grandeza. As escalas de perigosidade assentam numa variação logarítmica, pelo que as diferenças encontradas entre os modelos não apresentam diferenças significativas face aos níveis de perigosidade associados. Deste estudo depreende-se, também, que poderá existir uma maior concordância entre os modelos para eventos menos energéticos. É de notar que o período de pico considerado para análise da tempestade Hércules/Christina é sensivelmente o dobro do da tempestade Emma, ou seja, para a tempestade Emma foi simulado um maior número de ondas do que para a tempestade Hércules/Christina, podendo ser essa a razão pela qual os modelos mostram uma maior tendência para convergirem na tempestade Emma. Como não existem medições dos caudais de galgamento não é possível avaliar os modelos quantitativamente. Os níveis de perigosidade associados aos resultados de caudais médios galgados obtidos foram confrontados com os relatos históricos, permitindo uma avaliação qualitativa. Através desta análise, consideram-se que os resultados obtidos por ambos os modelos são satisfatórios.

Para cada conjunto de dados de entrada, com o modelo SWASH, dado o seu carácter determinístico, só é necessário realizar uma única simulação, o mesmo não acontece com a modelação estocástica XBeach, para a qual dever-se-ão fazer várias simulações de modo a obter uma análise estatística dos resultados, o que acarreta um maior consumo de tempo de computação. No entanto, tratando-se de eventos com características estocásticas, através da modelação XBeach poder-se-á obter intervalos de confiança na previsão de eventos perigosos.

Este estudo aponta para viabilidade da utilização de ambas as ferramentas de modelação na simulação de eventos de galgamento costeiro da estrutura de proteção aderente da Costa da Caparica, em condições de tempestade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto EW-Coast–*Early warning system for coastal risks induced by storms,* Ref. ALG-LISBOA-01-145-FEDER-028657 atribuída pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP (FCT), suportado pelos orçamentos dos Programas Operacionais Regionais do Algarve e de Lisboa na sua componente FEDER e pelo orçamento da FCT na sua componente OE. Agradecem também o suporte financeiro da FCT, ao CIMA através do UIDP/00350/2020. Ainda, agradecem aos projetos da FCT, To-SEAlert, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 e Mosaic.pt Ref. PTDC/CTA-AMB/28909/2017. Também agradecem à Administração do Porto de Lisboa, S.A.

REFERÊNCIAS

Booij, N., Ris, R. C., e Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *104*(C4), 7649–7666. https://doi.org/10.1029/98JC02622.

CEM. (2002). *CEM: Coastal Engineering Manual, EM 1110-2-1100*. U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

DGTerritório. (2011). *Modelo Digital do Terreno das Zonas Costeiras de Portugal Continental com resolução de 1 m (400 m em terra) - LiDAR (Continente)*. http://id.igeo.pt/cdg/b93228d48b794d4f8c78759409387c8f.

DGTerritório. (2020). *Rede Maregráfica da Direção Geral do Território*. ftp://ftp.dgterritorio.pt/Maregrafos/.

EurOtop. (2018). *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application.* (Second Ed.). Van der Meer, J. W., Allsop, N. W. H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch P. and Zanuttigh, B. www.overtopping-manual.com.

EW-Coast. (2019). *EW-Coast – Early warning system for coastal risks induced by storms*. https://www.cima.ualg.pt/EW-COAST

Ferreira, A. M., Fortes, C. J. E. M., e Reis, M. T. (2019). *Levantamento topográfico da estrutura de defesa costeira aderente entre São João da Caparica e a Nova Praia. Costa da Caparica. Relatório.* https://www.cima.ualg.pt/EW-COAST

IH. (2010). *Modelo batimétrico do rio Tejo*. http://horus.hidrografico.pt/content/dados/Modelo-Batimetrico_RioTejo.zip.

Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., e Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, *56*(11–12), 1133–1152. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006

Roo, D. E., Suzuki, T., Kolokythas, G., Zhao, G., e Verwaest, T. (2015). Numerical modelling of 2D wave transformation processes from nearshore to a shallow foreshore: comparison between the Mike21, swash and XBeach models. *E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress*, 1–6.

Santos, Â., Mendes, S., e Corte-Real, J. (2014). Impacts of the storm Hercules in Portugal. *Finisterra, XLiX*, *98*, 197–220.

Zijlema, M., Stelling, G., e Smit, P. (2011). SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, *58*(10), 992–1012. https://doi.org/10.1016/J.COASTALENG.2011.05.015.

Evolução do sistema Bugio-Caparica entre 1980 e 2018

Portela, L. I. (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), lportela@lnec.pt.

Resumo: Procede-se à comparação de levantamentos topo-hidrográficos à escala decenal (1980-2018) com o objetivo de contribuir para a interpretação da evolução morfológica do sistema Bugio-Caparica e para o esclarecimento do destino das areias utilizadas na alimentação das praias da Caparica. No banco do Bugio, entre 1982 e 2018, observa-se um fluxo sedimentar dirigido de sul para norte, com perda de ca. 15 x 10^6 m^3 a sul do paralelo Bugio-Cova do Vapor e acumulação de ca. 10 x 10^6 m^3 a norte. Porém, na zona da Caparica, entre 2001 e 2018, a tendência observada é de acumulação. Identifica-se, neste período, uma área de acumulação sedimentar parcialmente no exterior da célula de monitorização, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, no bordo meridional do banco do Bugio, que poderá estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas na envolvente da Cova do Vapor.

Palavras-chave: levantamentos hidrográficos, embocadura, praias, transporte sedimentar.

1. INTRODUÇÃO

As praias da Costa da Caparica constituem um trecho crítico da costa portuguesa, onde, desde 2007, tem sido posta em prática uma estratégia de proteção baseada na realização de intervenções de alimentação artificial (Pinto *et al*., 2018). Tendo-se verificado que parte do volume de areia depositado nas praias da Caparica pode abandonar a chamada "célula de monitorização" (com ca. 4,3 km^2), foi reconhecida a conveniência de, para analisar o desempenho das intervenções, estender a monitorização da evolução morfológica ao Cachopo Sul/banco do Bugio, senão mesmo à totalidade da embocadura do estuário do Tejo (Pinto *et al*., 2014).

O processo erosivo na Costa da Caparica remonta a meados do século passado e deve ser inserido no quadro mais amplo da evolução da embocadura e, em particular, do enfraquecimento e deslocamento para norte do banco do Bugio e do rápido recuo da restinga arenosa que então enraizava na Cova do Vapor (Oliveira, 1992). Dada a sua contiguidade, não é de surpreender a possibilidade de ocorrerem trocas sedimentares entre as praias da Caparica e as formas submersas da embocadura, conforme se refere em Pinto *et al*. (2014).

A análise da evolução do sistema Bugio-Caparica apresentada neste trabalho tem como objetivo principal contribuir para a identificação do destino das areias depositadas nas praias da Caparica desde 2007. Atendendo à escassez de levantamentos da embocadura adjacentes à Caparica no período das primeiras intervenções de alimentação artificial (2007-2014), a análise é realizada a uma escala temporal mais dilatada (desde 1980-1982) do que as efetuadas anteriormente à escala local da "célula de monitorização" (Pinto *et al*., 2014).

2. METODOLOGIA

Foram comparados os seguintes levantamentos topo-hidrográficos da embocadura: 1982, realizado pelo Instituto Hidrográfico (IH), digitalizado no LNEC a partir de suporte papel; 2000 (completado por outro, de 1999, da "Golada do Bugio"), também do IH e cedido pelo Porto de Lisboa; e 2018, realizado no âmbito do Programa COSMO (Figura 1).

Utilizou-se o programa Surfer para criar malhas com passo espacial de 10 m, numa área comum definida principalmente pelo levantamento mais antigo (1982). Consideraram-se quatro sectores com vértice central no Forte do Bugio (38,6604ºN; 9,2989ºW), coincidentes com as pranchetas de 1982: (A) noroeste (4,70 km^2); (B) nordeste (8,45 km^2); (C) sudeste (12,58 km^2); e (D) sudoeste (6,93 km^2). Estes sectores cobrem uma área total de 32,66 km^2, apresentando cotas em 2018 entre +13 e -39 m ZH. O sector C será objeto de maior atenção, devido à sua proximidade das praias da Caparica.

Dado que os levantamentos mais antigos tendem a apresentar uma cobertura pouco pormenorizada das praias, foi também efetuada uma comparação do levantamento COSMO de 2018 com levantamentos específicos da Costa da Caparica de: 1980, da Direção-Geral de Portos; e 2001, do IH. Neste caso, foram criadas malhas com passo espacial de 5 m. Na área comum local (3,23 km^2), as cotas em 2018 variam entre +13 e -10 m ZH.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Zona do Bugio (sectores A, B, C e D)

Apresenta-se na Figura 2 a distribuição das áreas de erosão e sedimentação na zona circundante do Bugio.

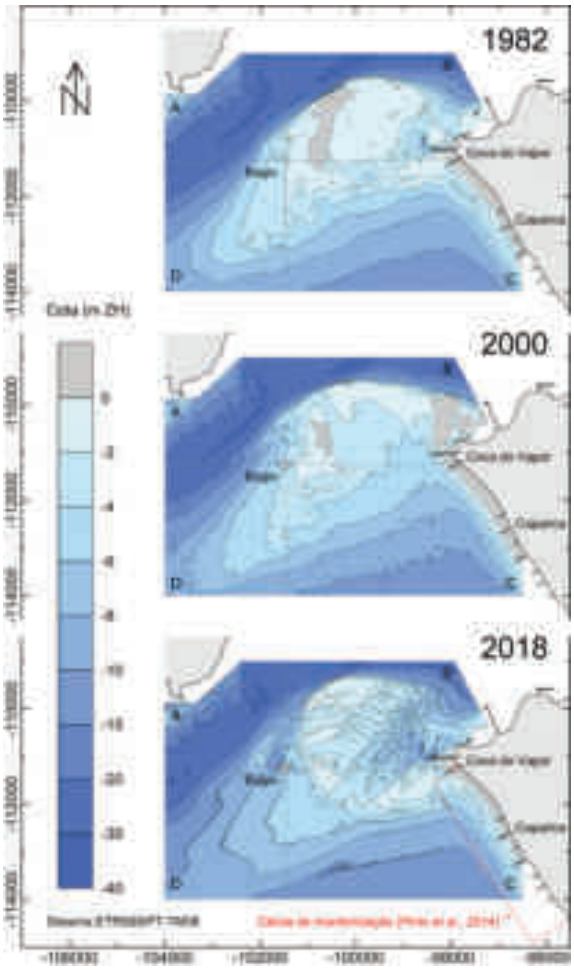


Fig. 1. Levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio, na embocadura do Tejo, de 1982, 2000 e 2018.

Devido ao intervalo de 36 anos entre os levantamentos de 1982 e 2018, a evolução nesse período, muito complexa, encontra-se filtrada, resumindo-se no essencial a uma continuação das tendências, registadas há várias décadas (Oliveira, 1992; Barata *et al*., 2013), de aprofundamento do Cachopo Sul/banco do Bugio e de acumulação sedimentar no talude norte desse banco. Os resultados apresentam imperfeições (*e.g.* em 1982-2000, nos sectores A e D, observa-se um padrão circular com centro no Bugio, que reflete a disposição radial das sondas do levantamento de 1982), mas sem implicações relevantes.

Sobre a questão de saber para onde se estão a deslocar as areias das alimentações artificiais das praias da Caparica, a comparação dos levantamentos de 1982 e 2018 revela uma área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio, a cerca de 1500 m do sector norte da praia de S. João da Caparica, que merece especial atenção. Analisando apenas o período 2000-2018, o volume acumulado nessa área é claramente mais elevado, o que se afigura compatível com o facto de as alimentações de praia se terem iniciado apenas em 2007. Porém, a interpretação da evolução neste período é complicada pela alteração ocorrida em torno da extremidade do esporão EV2, na Cova do Vapor. Com efeito, em 2000 tinha-se formado um banco acima do ZH a norte do esporão EV2, em resultado da migração da parte emersa do banco do Bugio para nascente. Em 2018, assiste-se na mesma área ao aprofundamento do canal da Golada, podendo, assim, a acumulação no bordo sul do banco do Bugio ter sido promovida, não apenas pelas intervenções nas praias da Caparica, a sul, mas também por um eventual transporte sedimentar a partir de norte do esporão EV2.

Entre 1982 e 2018, foi estimada uma perda sedimentar de ca. 15 x 10^6 m^3 a sul de um paralelo que passa pelo Bugio e pela Cova do Vapor (sectores C e D) e uma acumulação de ca. 10 x 10^6 m^3 a norte (sectores A e B; Tabela I). Estes resultados sugerem uma perda total de ca. 5 x 10^6 m^3, mas esta perda, correspondente a uma variação de cota média de -0,15 m, estará dentro do limite de incerteza admissível (cf. margem de erro de 0,30 m assumida por Pinto *et al*., 2014). O que não parece oferecer dúvidas, neste período, é a persistência de um fluxo sedimentar dirigido de sul para norte.

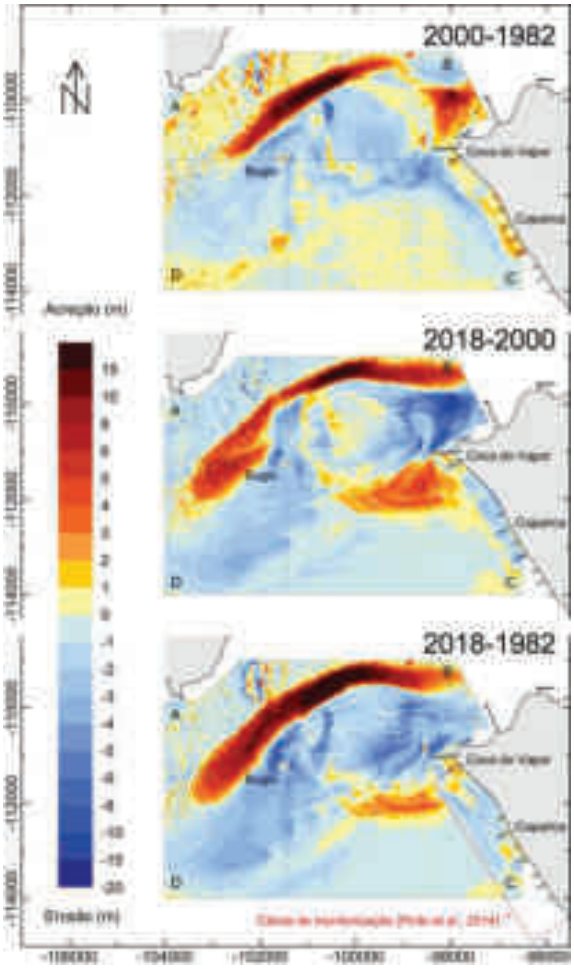


Fig. 2. Comparação de levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio: 2000-1982; 2018-2000; 2018-1982.

Porém, analisando separadamente os períodos 1982-2000 e 2000-2018, verifica-se que a evolução volumétrica foi muito distinta, sugerindo um abrandamento do transporte sedimentar de sul para norte e a sua limitação aos sectores a poente, do primeiro período para o segundo (Tabela I). Parece também poder concluir-se, dos resultados obtidos, que a área de comparação de levantamentos considerada, embora superior à de outros estudos sobre a evolução da zona do Bugio e Golada (Barata *et al*., 2013; Freire *et al*., 2018), é ainda insuficiente para uma completa interpretação da dinâmica do Cachopo Sul/banco do Bugio.

3.2. Sector Bugio-Caparica (sector C)

Uma análise mais detalhada do sector C (12,58 km^2), adjacente a parte das praias da Caparica, indica que o volume de acreção bruto estimado entre 2000 e 2018 (6,2 x 10^6 m^3; Tabela II) é superior ao volume das intervenções de alimentação artificial (3,5 x 10^6 m^3; Pinto *et al*., 2014). Este resultado reforça a hipótese de que, nesse período, a acumulação sedimentar a sudoeste dos esporões da Cova do Vapor envolva também material proveniente de NNE. No período anterior (1982-2000), a evolução em relação à extremidade do esporão EV2 tinha tido um padrão simétrico, isto é, acumulação a NNE e erosão a SSW (Figura 2). Verifica-se também que, no período completo entre 1982 e 2018, embora o saldo no sector C seja claramente de erosão, o volume de acreção bruto (3,1 x 10^6 m^3; Tabela II) tem uma magnitude comparável ao das alimentações artificiais na Caparica. A área de acumulação, razoavelmente bem delimitada, apresenta em 2018 cotas típicas da ordem de -4 a -2 m ZH (Figura 3).

Para uma avaliação complementar da fiabilidade dos resultados, procedeu-se, na zona da Caparica, à comparação de levantamentos locais de 1980 e 2001 com o levantamento de 2018. Embora os resultados obtidos com os levantamentos de 1980 e 1982 apresentem pequenas diferenças, a distribuição das áreas de maior acumulação no sector norte da praia de S. João da Caparica é concordante (Figura 3a). No caso dos levantamentos de 2000 e 2001, em que o primeiro apresenta uma cobertura menos completa da faixa de rebentação, verifica-se também muito boa concordância (Figura 3b). Assim, os levantamentos locais confirmam os resultados obtidos com os levantamentos gerais relativamente à configuração da acumulação sedimentar na proximidade do sector norte da praia de S. João da Caparica e no limite sul do banco do Bugio.

Considerando apenas a zona da Caparica (3,23 km^2), a evolução volumétrica nos períodos 1980-2001 e 2001-2018, determinada com base nos levantamentos locais, é distinta, verificando-se quase neutralidade entre volumes acumulados e erodidos em 1980-2001 e acumulação sedimentar em 2001-2018 (Tabela III). Os resultados sugerem que parte do volume das alimentações artificiais permanece, em 2018, na zona da Caparica, distribuído de forma heterogénea, mas que parte significativa a terá abandonado para o banco do Bugio. Os valores em concreto indicados devem ser encarados com prudência. Note-se que a área considerada tem limites diferentes da "célula de monitorização" de Pinto *et al*. (2014), e que o período de análise é também diferente.

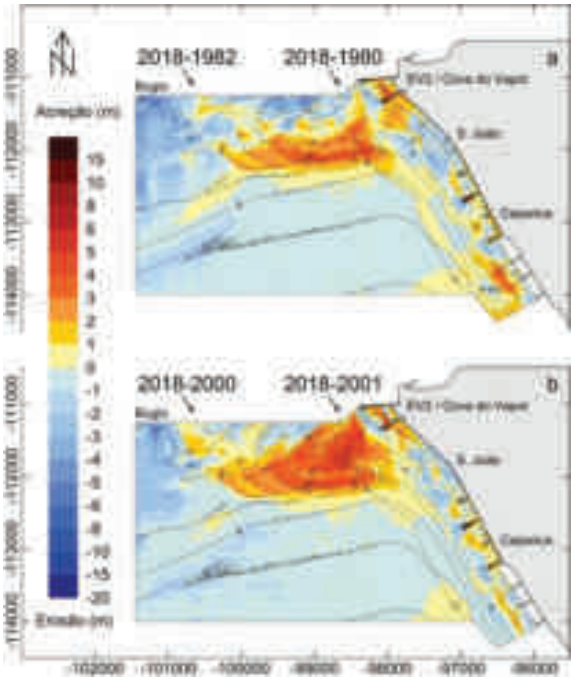


Fig. 3. Comparação de levantamentos topo-hidrográficos do sector C e, em plano superior, da Caparica, com sobreposição das batimétricas do levantamento COSMO de 2018: ***a*** *2018-1982 (na Caparica, 2018-1980);* ***b*** *2018-2000 (na Caparica, 2018-2001).*

Tabela I. Variação volumétrica por sector.

	Variação de volume (10^6 m^3)				
	A	B	C	D	Total
2000-1982	+5,2	+7,2	-5,0	-3,5	+3,8
2018-2000	+0,5	-2,5	-1,2	-5,7	-8,9
2018-1982	+5,6	+4,7	-6,3	-9,1	-5,1

Tabela II. Pormenorização da variação volumétrica no sector C.

	Área (km^2)	Volume (10^6 m^3)		
		Acreção	Erosão	Soma
2000-1982	12,58	+2,1	-7,1	-5,0
2018-2000		+6,2	-7,4	-1,2
2018-1982		+3,1	-9,4	-6,3

Tabela III. Variação volumétrica na Caparica.

	Área (km^2)	Volume (10^6 m^3)		
		Acreção	Erosão	Soma
2001-1980	3,23	+1,6	-1,5	+0,2
2018-2001		+2,4	-1,0	+1,4
2018-1980		+2,5	-0,9	+1,6

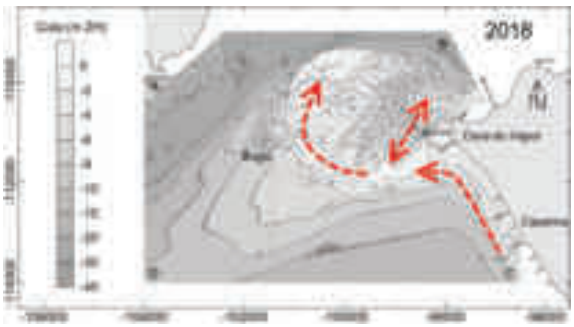


Fig. 4. Possíveis fluxos sedimentares associados à área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio.

3.3. Fluxos sedimentares

Aparentemente, após as intervenções de alimentação artificial, verificar-se-á uma tendência de transporte de sul para norte das areias depositadas, com acumulação no sector norte da praia de S. João da Caparica e eventual perda para NW, para a área identificada (Figura 4). Por outro lado, entre 2000 e 2018, o enraizamento submerso do banco do Bugio na Cova do Vapor tendeu a deslocar-se de norte para sul do esporão EV2, o que poderá explicar ganhos da "célula de monitorização" atribuídos a fontes externas (Pinto *et al*., 2014); não é de excluir que, noutros períodos, as alterações na vizinhança do esporão EV2 tenham efeito contrário. A acumulação sedimentar no sector C em 2000-2018 refletirá, assim, as intervenções de alimentação artificial e uma possível fonte sedimentar com origem a norte do esporão EV2. As batimétricas -4 a -2 m ZH sugerem que as formas de fundo associadas à área de acumulação se desloquem gradualmente para W-NW. À semelhança do que tem sido observado noutros sistemas (Ludka *et al*., 2018), os fluxos sedimentares inter-anuais nas fronteiras da "célula de monitorização" poderão ter importância comparável aos volumes das intervenções.

4. CONCLUSÕES

O destino final das areias utilizadas nas intervenções de alimentação artificial das praias da Caparica tem suscitado algumas dúvidas. Estudos de balanço realizados na "célula de monitorização" indicam que a maior parte do volume das alimentações tem permanecido nessa célula (Pinto *et al*., 2014). No presente estudo, na comparação de levantamentos de 1982-2018 e 2000-2018 a mais larga escala, foi identificada uma área de acumulação parcialmente exterior à célula, no bordo sul do banco do Bugio, a SW dos esporões da Cova do Vapor. Os elementos analisados sugerem que esta área de acumulação, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, possa estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas a norte e a sul do esporão EV2.

A acumulação sedimentar registada nos últimos anos na proximidade do sector norte de S. João da Caparica, nomeadamente na praia imersa, é um desenvolvimento local favorável à estabilidade das praias da Caparica, em particular da de S. João. Porém, podendo essa acumulação não ter origem exclusivamente nas intervenções de alimentação artificial, a evolução futura das praias é difícil de prever. Neste contexto, o prosseguimento da realização de intervenções de alimentação artificial, associado a um programa mais completo de monitorização do sistema, afigura-se uma estratégia prudente.

Agradecimentos

O autor agradece à Agência Portuguesa do Ambiente a autorização para publicar este estudo e à Administração do Porto de Lisboa (APL) e à Direção-Geral dos Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM) os levantamentos hidrográficos disponibilizados. O levantamento de 2018 foi obtido no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO) da Agência Portuguesa do Ambiente, cofinanciado pelo Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR).

REFERÊNCIAS

Barata, A., Rosa, T., Cabaço, J., Teles, M., Andrade, C.F., Silveira, T. (2013). Evolução morfodinâmica da região das Barras do Tejo. Estudo do litoral na área de intervenção da APA I.P./ARH do Tejo. Entregável 1.2.3.f., junho 2013, 34 pp. Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Freire, P., Portela, L.I., Fortunato, A.B. (2018). Assoreamento do cais da SILOPOR na Trafaria. Caracterização da situação atual. Relatório 269/2018-DHA/NEC, LNEC, Lisboa.

Ludka, B.C., Guza, R.T., O'Reilly, W.C. (2018). Nourishment evolution and impacts at four southern California beaches: A sand volume analysis. *Coastal Engineering*, 136, 96-105.

Oliveira, I.B.M. (1992). Port of Lisbon: improvement of the access conditions through the Tagus estuary entrance. In: *Proc. of the 23rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 1992)*, pp. 2745-2757.

Pinto, C.A., Taborda, R., Silveira, T. (2014). Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica. Síntese dos resultados de monitorização (2007 a 2014). Contributo para o Grupo de Trabalho do Litoral (Anexo VI), pp. 218-242.

Pinto, C.A., Silveira, T.M., Teixeira, S.B. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental: Enquadramento e retrospetiva das intervenções realizadas (1950-2017). Relatório técnico. Agência Portuguesa do Ambiente, 60 p.

Projeto Sandtrack- Novas abordagens metodológicas sobre traçadores sedimentares

Fernandes, A. F. (1), Rato, D. (2), Silva, S. (1), Ribeiro, M. (1), Taborda, R. (2), Rodrigues, A. (1), Romão, S. (2,3), Vinhas, A. (1) e Pombo, J. (1)

(1) Instituto Hidrográfico.filipa28f@gmail.com

(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

(3) Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro.

Resumo: As praias do litoral de Aveiro têm sido alvo de várias alimentações artificiais nos últimos anos. O objetivo do projeto Sandtrack é avaliar a deslocação espácio-temporal dos sedimentos introduzidos no sistema, de modo a melhorar a eficiência das futuras intervenções na orla costeira. Para atingir este objetivo realizou-se uma campanha em julho de 2019 na praia da Costinha (Aveiro) com a colocação de traçadores sedimentares. Colocou-se traçador fluorescente e magnético e, de seguida recolheram-se 111 amostras de sedimento arenoso na praia submersa, a partir das quais se determinou o número de grãos marcados, e a suscetibilidade magnética. Estes parâmetros permitiram a caracterização e quantificação espacial e temporal do deslocamento de traçador ao longo da linha de costa. A comparação entre os dois traçadores revelou não existir grande concordância entre os resultados obtidos tanto no que respeita à quantidade de traçador identificado como a distância percorrida pelo mesmo.

Palavras-chave: sedimentos, traçador fluorescente, traçador magnético, transporte.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do transporte sedimentar litoral (magnitude e direção) é fundamental para compreender e avaliar a evolução da linha de costa e o balanço sedimentar desta. Apesar do grande desenvolvimento de técnicas de medição de transporte de sedimentos nos últimos anos, a utilização de traçadores ainda é um dos métodos mais eficazes disponíveis para avaliar este transporte (Black *et al*, 2007).

No âmbito do projeto SandTrack (Alimentação Artificial das Praias: uma metodologia integrada de suporte à gestão litoral), foi realizada uma experiência de traçadores para estudar o transporte sedimentar. Um dos objetivos do projeto era a comparação dos resultados entre dois tipos de traçadores (fluorescentes e magnéticos).

O presente projeto compreendeu um conjunto de etapas (Rato *et al*., 2019 e Fernandes *et al*., 2019) que passaram pelo estudo das características texturais das areias marcadas, da realização da campanha de amostragem e do processamento das amostras, permitindo avaliar a deslocação espácio-temporal dos sedimentos, ao longo da linha de costa.

A utilização de traçadores fluorescentes é o método mais comum para o estudo do transporte sedimentar enquanto o traçador magnético foi utilizado pela primeira vez, nesta campanha na presente área de estudo.

Este novo método irá permitir em princípio, uma avaliação do transporte sedimentar de forma mais rápida e através de métodos de deteção remota em detrimento da utilização de traçador fluorescente cuja metodologia é mais exaustiva principalmente no que se refere ao número de amostras que são necessárias recolher e processar.

Na campanha realizada em junho de 2019, foram lançados em simultâneo os dois tipos de traçadores para que os resultados fossem comparados e validados. A amostragem na praia submersa decorreu, nos dias 9, 11, 12, 22 de julho e 7 de agosto de 2019, tendo-se realizado uma amostragem de referência (antes da injeção), dia 8 de julho.

Este estudo apresenta os resultados referentes à análise individual das amostras de sedimentos recolhidas durante a experiência, i.e. os resultados relativos ao número de partículas fluorescentes e valor de suscetibilidade magnética (SM) das amostras. No fim, os resultados referentes aos dois tipos de traçadores são comparados, de forma a perceber se existe uma relação entre ambos, que permita aferir a potencialidade da utilização do traçador magnético.

2. MÉTODOS

2.1. Preparação do traçador fluorescente e do traçador magnético

Recolheram-se 2 t de areia no depósito de dragados do Porto de Aveiro, sendo posteriormente marcadas com tinta laranja (1 t), e tinta magnética (1 t).

Numa primeira análise compararam-se as características texturais das areias dragadas do Porto de Aveiro (antes de serem marcadas) com as areias nativas da praia da Costinha.

Os resultados revelaram que as areias do Porto de Aveiro e as areias da praia da Costinha eram compatíveis texturalmente, como se pode observar na

Fig.1, permitindo concluir que estas areias eram viáveis para serem marcadas e utilizadas na campanha de campo.

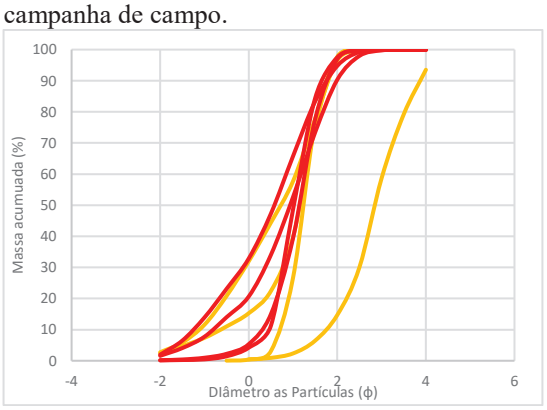


Fig. 1. Curvas granulométricas das amostras recolhidas no Porto de Aveiro (PAA1 a PAA4 (-)) e na praia da Costa Nova (CNA1 a CNA3(-)).

Após a marcação das areias estas foram novamente analisadas de forma a perceber se o processo de marcação teria alterado as características texturais das areias, o que não se verificou, ou seja, a dimensão do grão não foi alterada pelo processo de pitura das areias (Fig.2).
As amostras da praia emersa revelaram uma SM de entre -0.06 e 1.2 SI x10^{-5}/g, ou seja, uma SM baixa.

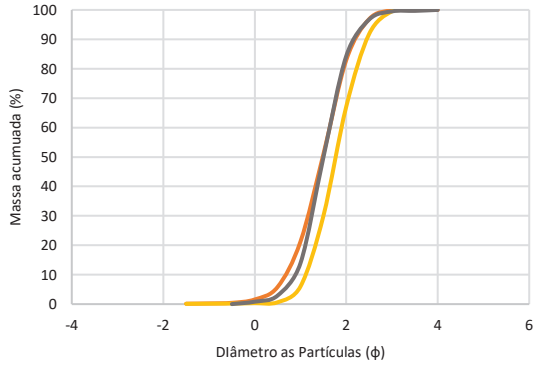


Fig. 2 - Curvas granulométricas da areia não marcada (-), do traçador magnético (-) e do traçador fluorescente laranja (-).

2.2. Injeção de traçador e amostragem de sedimentos

Os traçadores fluorescentes e magnéticos foram colocados na praia submersa em duas zonas contíguas, aproximadamente à cota -6 m (NMM). Realizou-se uma amostragem de referência no dia 8 julho antes da injeção do traçador. A injeção decorreu no dia 9 de julho e, nesse dia, e nos dias seguintes procedeu-se à amostragem (Tabela I).

Tabela I. Número de amostras recolhidas em cada dia de campanha.

Mês	julho					agosto
Dia	8	9	11	12	22	7
Nº de amostras	7	12	19	19	23	34

A amostragem do traçador na praia submersa foi realizada a bordo de uma embarcação com um colhedor *Petite Ponar* e sistema de posicionamento GNSS com correção diferencial.
Após a injeção foram recolhidas 111 amostras, estando referenciadas por ordem crescente, de E1 a E111.
Sempre que possível, as amostras de sedimento recolhidas foram analisadas com luz UV na embarcação de forma a verificar a presença de partículas fluorescentes laranjas e restringir melhor a área de amostragem seguinte. Estas amostras foram repartidas em duas porções para a realização dos diferentes procedimentos.

2.3. Processamento das amostras de sedimento para deteção do traçador

2.3.1 Deteção do traçador fluorescente

As 111 amostras colhidas foram lavadas e secas para retirar os sais, e posteriormente quarteadas até se obter uma massa de aproximadamente 100 g.
Para detetar e contar as partículas de traçador, as amostras de sedimento foram fotografadas à luz UV com uma câmara fotográfica (Canon com uma resolução de 941x629 pixéis), posicionada 50 cm acima da amostra, permitindo fotografar uma área de 20x14 cm^2.
As imagens adquiridas foram depois analisadas em MATLAB com a ferramenta de processamento de imagem disponível em http://sandcode.rd.ciencias.ulisboa.pt/ImageAnalysis.html, a partir da qual foi possível identificar e quantificar os grãos fluorescentes, permitindo determinar a concentração destas partículas na totalidade da amostra, bem como a dimensão dos grãos marcados.

2.3.2 Deteção de traçador Magnético

Em todas amostras, foi medida a SM, no campo no laboratório, recorrendo ao sensor MS2B da *Bartington® Instruments*.
No campo foi realizada uma análise expedita que consistiu, na homogeneização das amostras e subsequente acondicionamento em provetes cilíndricos adequados ao sensor, executando um mínimo de 3 medições por provete. As amostras encontravam-se húmidas e com sais.
A técnica utilizada em laboratório incluiu, a homogeneização das amostras, a lavagem das mesmas e secagem na estufa a 105ºC, durante 24h. Posteriormente as amostras foram quarteadas com recurso a um *splitter* e acondicionadas em provetes cilíndricos, efetuando um mínimo de 3 medições da por provete. Neste método fez-se a medição da suscetibilidade magnética em relação à massa, ou seja, os provetes foram pesados antes e após a colocação da amostra.

Após estas medições e análise das mesmas fez-se uma observação expedita, à lupa binocular a fim de confirmar a presença do traçador magnético.

Verificou-se que o sedimento nativo tem um sinal residual de SM devido aos minerais pesados e litoclastos presentes no sedimento, confirmado também, pela amostragem de referência. Por isso, foi calculado um valor limite de deteção (1.4 SI x10^{-5} /g), através das médias dos valores de cada dia, dos primeiros 3 dias de amostragem, e posteriormente multiplicado por 3 vezes o desvio de padrão. Este cálculo não foi assumido para os restantes dias devido à existência de amostras com valores de SM elevados (superiores ao limite), pois após a análise à lupa destas amostras observou-se a presença de minerais pesados e litoclastos e não do traçador. amostra.

3. RESULTADOS

As 111 amostras foram recolhidas a várias distâncias do ponto de injeção, a amostra mais próxima foi recolhida a 3 m de distância e a mais afastada a 1250 m.

Os resultados do processamento das amostras quanto à suscetibilidade magnética e ao número de grãos marcados encontram-se representados na Fig.3.

A Fig. 3-A representa os resultados referentes ao número de partículas fluorescentes e a Fig. 3-B representa o valor da SM nas mesmas amostras.

As Fig.3-C e D representam apenas as amostras recolhidas junto do ponto de injeção e que por consequência apresentam uma quantidade de traçadores fluorescentes e magnéticos mais significativas. No caso do traçador fluorescente estão representadas as amostras com mais de 1 grão marcado e no caso do magnético, as amostras com valor de suscetibilidade acima do valor 1.4 SIx10^{5} /g.

Como se pode observar na Fig. 3-A, a maior parte das amostras foram colhidas próximas do ponto de injeção (35% das amostras a uma distância inferior a 50 m). A análise de imagem revelou que 75% destas amostras continham traçador fluorescente, tendo-se verificado a presença de traçador até 300 m do ponto de injeção. O número de partículas por amostra varia entre 1 grão/100 g de amostra, nas amostras mais distais, até 1000 grãos/100 g de amostra, nas amostras mais próximas do local de injeção (Tabela II).

A maioria das amostras têm valores de suscetibilidade magnética inferiores a 1.4 SI x10^{-5}/g. As amostras acima deste limite encontram-se com uma distância máxima de 25 m do ponto de injeção. Entre as amostras analisadas a amostra com maior suscetibilidade magnética é a E25 a 7 m do ponto de injeção com 29.2 SI x 10^{-5} / g (Tabela II).

Nos últimos dois dias, (amostras E53 a E111), após a análise à lupa não se verificou a presença de traçador. Simultaneamente também se observa que a quantidade de traçador fluorescente é de 1 partícula/100 g de amostra.

Tabela II. Resultados da suscetibilidade magnética e do nº de partículas marcadas por 100g de amostras em relação à distância do ponto de injeção.

Amostra	Distância ao ponto de injeção (m)	Nº partículas marcadas por 100g de amostra	SM (SI x10^{-5}/g)
E1	31	2	0.3
E3	12	98	1.4
E8	6	64	18.0
E25	7	450	29.2
E29	11	5	0.3
E30	3	1006	22.58
E35	25	6	0.6
E38	29	3	0.5
E50	25	73	2.8
E94	31	0	1.6
E98	24	3	1.0

4. DISCUSSÃO

Com base na Fig.3 e na Tabela II, identificou-se traçador fluorescente em 25 amostras (23% do total de amostras) e traçador magnético em 5 amostras (5% do total das amostras).

O traçador fluorescente foi detetado até aos 300 m do ponto de injeção, enquanto o traçador magnético foi detetado até aos 25 m do respetivo ponto.

Verifica-se que, aparentemente, para o mesmo intervalo de tempo o traçador fluorescente deslocou-se até distância maiores do que o traçador magnético.

Por um lado, é necessário ter em conta que o sedimento nativo tem um sinal de SM residual que pode ser facilmente confundindo com a presença de traçador magnético, por outro lado, o comportamento hidrodinâmico, do traçador magnético poderá ser distinto do fluorescente.

Os valores não são diretamente proporcionais, ou seja, as amostras com maior número de grãos fluorescentes não são simultaneamente as amostras com maior SM.

Destacam-se as amostras E3, E8, E25, E30, como sendo aquelas que têm maior quantidade de traçador fluorescente e SM acima do valor base, e que igualmente se encontram mais próximas do ponto de injeção. Neste ponto as concentrações dos traçadores são semelhantes, mas quando o traçador magnético se dilui no sedimento nativo já não é possível distinguir o sinal das partículas magnéticas nativas do sinal de traçador magnético.

s amostras E1, E29, E35, E38, E98 contém grãos fluorescentes, porém têm valores de SM inferiores a 1.4 SI x 10^{-5} /g.

A comparação dos resultados mostra que é necessária a presença de várias dezenas de partículas marcadas para que o sinal de SM ultrapasse o valor de base definido inicialmente. Perante este cenário, as taxas de transporte estimadas com base nestes resultados de SM vão subestimar o transporte sedimentar ocorrido.

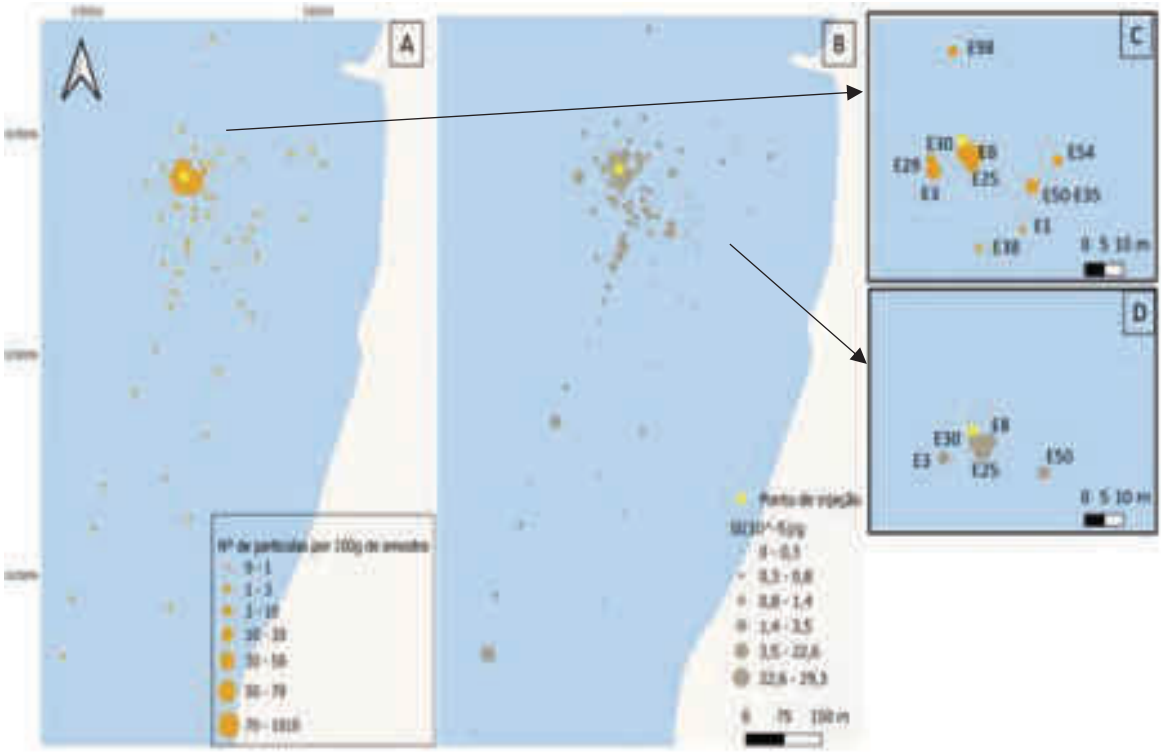


Fig. 3. Representação das amostras recolhidas na praia submersa; A- em relação ao número de partículas marcadas com traçador laranja; B- em relação à suscetibilidade magnética por peso; C- aproximação ao ponto de injeção representado as amostras aquelas que contém mais de um grão marcado; D aproximação ao ponto de injeção representado as amostras com valores maiores de 1.4 SI x 10^{-5} / g.

CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu comparar os resultados obtidos entre o traçador fluorescente e o traçador magnético com o intuito de validar a aplicação deste último na quantificação do transporte sedimentar e da dinâmica costeira.

A comparação entre a quantidade de traçador fluorescente presente na amostra e a suscetibilidade magnética medida na mesma revelou uma pobre relação entre os resultados. Nesta experiência não se verificou uma relação direta entre os resultados que permitisse validar a utilização de traçadores magnéticos em substituição dos fluorescentes.

Para a utilização desta metodologia no estudo da dinâmica sedimentar é necessário efetuar um estudo do sinal base/residual da SM da área de estudo e verificar se o mesmo varia no espaço e no tempo.

Apesar da metodologia de preparação dos traçadores magnéticos ser mais morosa que a dos traçadores fluorescentes, a amostragem e processamento do traçador magnético é mais rápida.

Esta experiência mostrou que é necessário continuar os estudos para a validação desde método, no que diz respeito à dispersão do traçador magnético, à quantidade de traçador utlizada (usar maiores quantidades de traçador magnético) e às características da praia (presença de elementos naturais ou artificiais que condicionam a dinâmica do transporte sedimentar) onde irá ser realizada a experiência.

Agradecimentos

O projeto "SandTrack", "PTDC/CTA-GEO/31779/2017", é financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional de Lisboa e do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização e por fundos nacionais através da FCT/MCTES.

REFERÊNCIAS

Black, K. S., Athey, S., Wilson, P., e Evans, D. (2007). The use of particle tracking in sediment transport studies: a review. *Journal of the Geological Society of London*, *274*, 73–91. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2007.274.01.09

Fernandes, A.F., Silva, S., Duarte, J.F., Pombo, J., Ribeiro, M., Bizarro, A. e Vinhas, A. (2019). Utilização da suscetibilidade magnética para a deteção de traçadores magnéticos em estudos de dinâmica sedimentar costeira. Livro de Atas IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019, Estremoz, 91-94

Rato, D., Cascalho, J., Taborda, R., Silva, P., Romão, S., Silva, A.N. e Lira C. (2019). Resultados preliminares de uma experiência com traçador fluorescente (praia da Costinha - Aveiro, Portugal. Livro de atas IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019, Estremoz, 51-54.

Revisão da cartografia de depósitos sedimentares junto à desembocadura dos rios Tejo e Sado

Vinhas, A. (1); Moreira, S. (1); Lapa, N. (1); Rodrigues, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. andre.costa@hidrografico.pt.

Resumo: O Instituto Hidrográfico deu início, na década de 70 do século XX, à aquisição de dados geofísicos e sedimentares no âmbito do programa SEPLAT. O principal objetivo foi a elaboração das 8 cartas de sedimentos superficiais da plataforma continental portuguesa. Desde então, ocorreram diversos avanços científico-tecnológicos que possibilitam a criação e disponibilização de novos produtos cartográficos. Numa altura em que surge a necessidade de rever a cartografia existente, escolheram-se duas áreas adjacentes à desembocadura dos estuários do Tejo e Sado para apresentar uma proposta inovadora da cartografia de sedimentos da plataforma continental, em conjunto com níveis de informação não existentes até à data, com recurso a plataformas de Sistemas de Informação Geográfica.

Palavras-chave: delta de vazante, isopacas, plataforma continental, sedimentos superficiais, SIG.

1. INTRODUÇÃO

No que aos depósitos de cobertura sedimentar da plataforma continental dizem respeito, os primeiros trabalhos publicados foram as "Cartas Litológicas Submarinas" à escala 1:150 000, entre 1910 e 1924, pela missão Hidrográfica da Costa de Portugal. Após 50 anos desde a publicação da última carta litológica submarina, inicia-se em 1974, e após a criação do Instituto Hidrográfico (IH), o programa SEPLAT, acrónimo de "*Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Portuguesa*", com o objetivo de realizar um levantamento sistemático da natureza do fundo da plataforma continental e vertente superior, a publicar em 8 cartas à escala 1: 150 000 (série SED). Estas cartas viriam a substituir as já citadas "Cartas Litológicas Submarinas". A primeira edição da série de cartas SED terminou em 2010.

O mapeamento dos depósitos sedimentares marinhos da plataforma continental portuguesa é uma das linhas de atividade estratégica do IH, tendo vindo a evoluir ao longo dos anos e a incluir outro tipo de informações e de dados, nomeadamente dados dos inúmeros levantamentos hidrográficos, realizados para a atualização da cartografia náutica, levantamentos geofísicos e campanhas de amostragem, realizados no âmbito de projetos de investigação ou prestações de serviços.

Considerando esta evolução metodológica e a necessidade de acompanhar a evolução do ambiente marinho e as solicitações dos vários utilizadores dos produtos cartográficos, urge a manutenção da atualização da informação contida nas cartas sedimentológicas e, eventualmente, definir outro tipo de produtos. O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) nas últimas duas décadas e a massificação da sua utilização, tem permitido uma nova forma de integrar, modelar e visualizar a informação existente e produtos gerados relativamente à natureza e características do fundo marinho e substrato da plataforma continental.

2. OBJETIVO E METODOLOGIA

O principal objetivo do presente trabalho é a revisão da cartografia dos depósitos sedimentares, publicada na folha SED5 do programa SEPLAT, nas desembocaduras, e plataforma continental adjacente, dos dois principais rios que bordejam a Península de Setúbal (Figura. 1), o Tejo a norte e Sado a sul, e a integração de um novo nível de informação sobre esta cartografia, nomeadamente a espessura da estrutura sedimentar adjacente, recorrendo a SIGs.

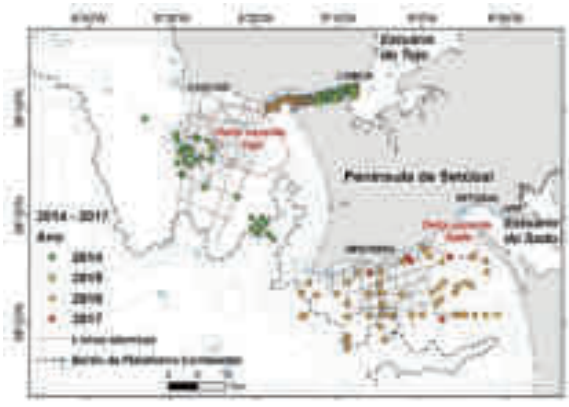


Fig. 1. Localização das áreas de estudo e identificação dos dados para atualização cartográfica na desembocadura dos rios Tejo e Sado.

Para as duas áreas de trabalho foram extraídos, da base de dados (BD) de sedimentos do IH, os metadados (e.g. coordenadas e profundidade) e os dados de cariz composicional (teor total de carbono inorgânico) e textural (distribuição granulométrica, média, moda, desvio-padrão e assimetria), referentes a um total de 726 amostras superficiais, seguindo o procedimento descrito em Melo *et al. (este volume).*

Do total de amostras, 528 foram colhidas entre 1980 e 1987, no decorrer do Programa SEPLAT, com recurso a um amostrador do tipo *Shipeck* ou *Van Veen*. Para além do mapeamento da Folha SED5, estas amostras também serviram de suporte ao mapeamento do substrato do fundo oceânico disponibilizado no portal EMODnet. As restantes 198 amostras foram obtidas com um amostrador do tipo *Smith-McIntyre*, no âmbito de diversas campanhas de investigação promovidas pelo IH, entre 2014 e 2017.

Os sedimentos superficiais foram analisados no Laboratório de Sedimentologia da Divisão de Geologia Marinha do Instituto Hidrográfico, utilizando a metodologia em vigor na altura e descrita nos respetivos metadados. Ou seja, dada a diferença temporal entre a sua colheita e respetiva análise, os sedimentos do Programa SEPLAT foram sujeitos a um método analítico para a determinação do tamanho médio do grão ligeiramente diferente do atual. Sucintamente, as amostras foram peneiradas em intervalos de 1 ϕ, até ao peneiro de 4 ϕ (63 μm). A fração abaixo deste peneiro (fração silto-argilosa) foi determinada por pipetagem. As restantes amostras, colhidas entre 2014 e 2017, foram analisadas de acordo com a metodologia atualmente em vigor (NT.LB.22 v01.01 e NT.LB.23 v02.02: peneiração com um intervalo de malha de 0,5 ϕ até ao peneiro 1 ϕ (500 μm). As frequências granulométricas da fração que passa neste peneiro, foram discriminadas pelo método de difração laser com o equipamento *MALVERN MASTERSIZER HYDRO 2000G*. Os resultados destas análises, após verificação e validação, foram introduzidos na BD dos sedimentos utilizando o *software* de gestão laboratorial NAUTILUS.

A informação existente permitiu classificar os sedimentos superficiais de acordo com 1) o tamanho médio do grão (Wentworth, 1922); 2) o sistema classificativo utilizado nas Cartas Sedimentológicas, baseado em Larsonneur (1977); e a classificação modificada de Folk, utilizada no mapeamento do substrato do fundo oceânico disponibilizado no portal EMODnet (Kaskela *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos foram depois complementados com informação de caráter geofísico, tendo em vista uma maior descrição da camada sedimentar, nomeadamente espessuras. Para a elaboração do mapa de isopacas da estrutura sedimentar em ambas as áreas foram processadas e interpretadas um total de 152 linhas de reflexão sísmica monocanal de alta resolução (sistema *Boomer*), adquiridas entre 2005 e 2017, correspondendo deste total, 115 linhas na área do canal e delta vazante do Tejo e 37 linhas na área da plataforma adjacente ao delta de vazante do Sado (Fig. 1). As várias etapas do processamento correspondem a aplicação de filtros e ganhos do sinal, bem como a correções de posicionamento (*layback*), maré, estática e *swell*. A interpretação sismoestratigráfica foi realizada utilizando os critérios formalizados por Mitchum e Vail (1977).

Através da interpretação sismoestratigráfica das linhas sísmicas foi identificada a base da cobertura sedimentar em cada uma das áreas. A distância entre a superfície do fundo marinho e a superfície que materializa a base da cobertura sedimentar foi obtida em tempo duplo (td) e posteriormente convertida para uma escala métrica, assumindo um valor médio de propagação do som nos sedimentos de 1800 m/s de acordo com os valores tabelados por Hamilton & Bachman (1982). Com os pontos das espessuras foram elaborados os mapas de isopacas.

Toda a informação existente, relativa ao substrato e às caraterísticas sedimentológicas das áreas em estudo, foi integrada em ambiente SIG (*software* ArcGIS).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um exemplo de como a informação pode ser visualizada está representado na figura 2. A camada base é constituída pelas zonas de afloramento rochoso e pela distribuição espacial das isopacas da cobertura sedimentar, sobre a qual se pode representar uma de diversas características texturais (principais classes texturais, calibração e assimetria) e composicionais (teor em carbonato de cálcio) do sedimento ou a respetiva classificação textural de acordo com um dos esquemas classificativos previamente mencionados.

A classificação dos sedimentos colhidos na última década, de acordo com o sistema classificativo aplicado nas Folhas SED e o esquema de 7 classes adaptado de Folk (1954) e a sua representação espacial, permitiu averiguar a ocorrência de uma certa compatibilidade dos resultados obtidos com os mapeamentos existentes. As discrepâncias detetadas tendem a ocorrer junto aos limites dos vários depósitos sedimentares (ver exemplo dos depósitos lodosos da plataforma continental ao largo do Tejo, Figura 3); tal pode dever-se a diversos fatores, sejam eles naturais (evolução à mesoescala temporal dos depósitos marinhos) ou metodológicos (e.g. critérios cartográficos, procedimentos laboratoriais, tipo de amostrador utilizado, método de aquisição do posicionamento da estação de colheita, entre outros.).

Com a informação atualmente existente é possível estender a cartografia sedimentar para o interior do Gargalo do Tejo (amostragem realizada em 2015 e 2016) e com base no trabalho de Santos *et al.* (2016). Nesta área do estuário, os sedimentos exibem um tamanho médio muito variável, desde siltes muito finos a areias muito grosseiras, e são litoclásticos (*i.e.* $CaCO_3$ < 30%) (Figura 4). Dada a variabilidade textural existente, o padrão de distribuição dos depósitos sedimentares, de acordo com o sistema classificativo aplicada nas cartas da série SED, é complexo. Todavia, observa-se que os sedimentos mais finos (lodo < 50%, Classes L1 e LL1) e com

menor teor em $CaCO_3$ (<7,5%) tendem a ocorrer junto à margem direita, enquanto que os sedimentos mais grosseiros (areia grosseira (AG1) e areia cascalhenta (AC1)) tendem a depositar-se na zona central do Gargalo do Tejo (Figura 4).

No que diz respeito à espessura da cobertura sedimentar, na área do Tejo, esta é bastante variável; ascendendo a ~70 m no centro do delta de vazante, diminuindo até próximo do bordo da plataforma continental. Destaca-se na zona da desembocadura do Tejo uma área composta por dunas hidráulicas, na qual a espessura de sedimento pode chegar aos 20 m.

Na zona da plataforma continental adjacente à desembocadura do Sado predominam os depósitos arenosos. Contudo, junto ao litoral rochoso que constitui a cadeia orogénica da Arrábida, os sedimentos tendem a ser de granulometria fina (siltes) e a espessura da cobertura sedimentar pode exceder 40/50 m. De acordo com Vinhas (2018), o desmantelamento progressivo das arribas é, possivelmente, a principal fonte local de sedimento. A espessura diminui bruscamente, distribuindo-se uniformemente por toda a plataforma continental até ao seu bordo, apresentando valores na ordem dos 5 a 10 metros.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia dos depósitos superficiais das plataformas continental e insulares portuguesa é uma das áreas e investigação com interesse estratégico para o IH.

Dada a natural evolução do ambiente marinho e o acesso a um volume de informação crescente, de diferentes origens e com maior resolução, é urgente definir novas metodologias para descrever a natureza dos fundos marinhos, e elaborar mapas e outros produtos cartográficos que apresentem uma leitura simples sem, no entanto, descurar o rigor e o detalhe.

O recurso a um *software* de informação geográfica permitiu a integração conjunta de dados de caráter distinto e a respetiva representação gráfica. Numa primeira abordagem procedeu-se à construção de um mapa com diferentes camadas de informação, cuja representação espacial é precisa. Este sistema multi-camadas permite uma consulta rápida da informação disponível e facilita a análise espacial conjunta ou isolada de cada um dos parâmetros considerados.

A categorização das amostras, de acordo com dois esquemas classificativos que servem de suporte ao mapeamento disponível para as áreas de estudo permitiu averiguar a atualidade da representação dos depósitos sedimentares.

Como linha de atividade futura, pretende-se:

1) alargar a área mapeada relativamente à espessura da cobertura sedimentar da plataforma continental,

2) atualizar os limites dos depósitos sedimentares existentes nas áreas de estudo com recurso a SIGs,

3) definir os critérios necessários para proceder ao mapeamento dos depósitos sedimentares no interior do Gargalo do Tejo,

4) avaliar novos formatos cartográficos, para a disponibilização da informação sobre a natureza e estrutura (e.g. espessura, estrutura interna) dos depósitos marinhos.

5) avaliar a possibilidade de desenvolver uma metodologia para ajustar os produtos cartográficos, ou mapas, às necessidades dos utilizadores.

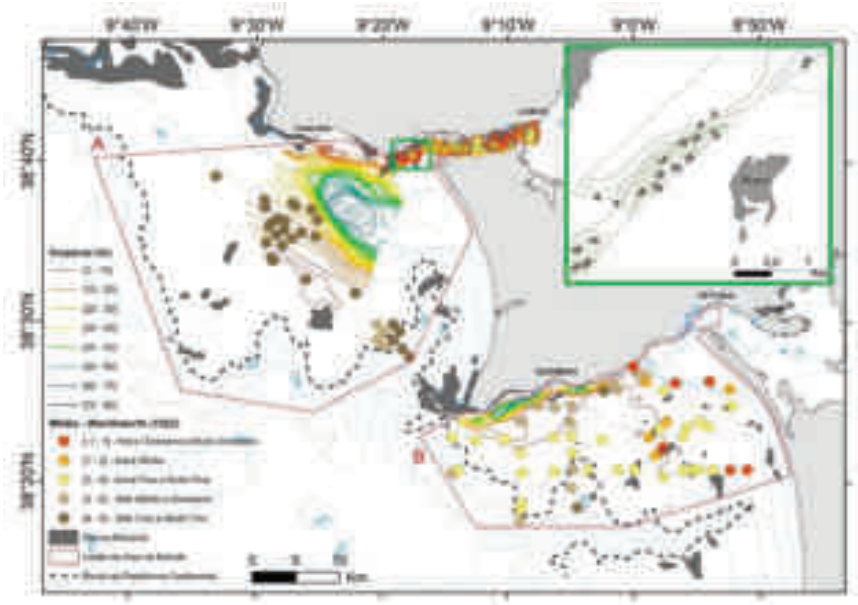


Fig. 2. Distribuição espacial do tamanho médio do grão dos sedimentos superficiais, e respetiva classificação dimensional, complementada com a espessura da camada sedimentar junto à desembocadura dos rios Tejo (A) e Sado (B). Zona de dunas hidráulicas onde a espessura sedimentar chega aos 20 m (quadrado verde).

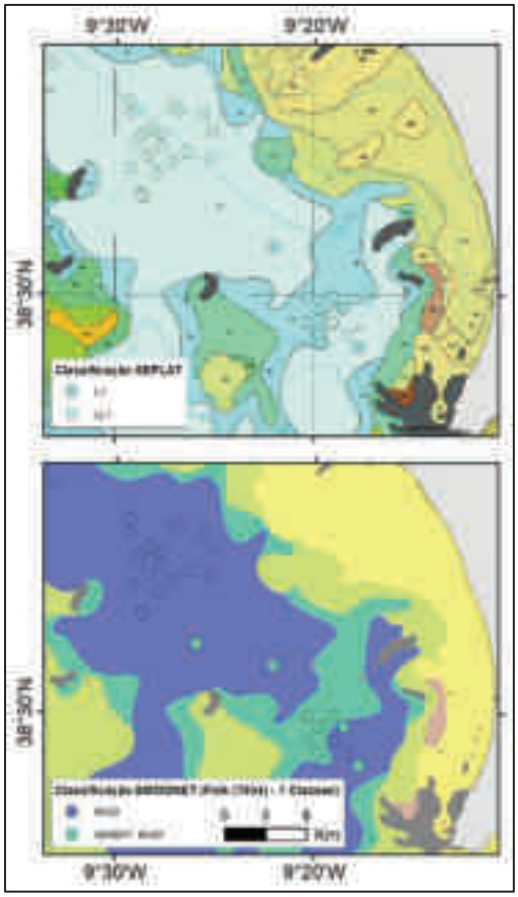


Fig. 3. Classificação das amostras colhidas em 2014 nos depósitos lodosos ao largo da desembocadura do Tejo, de acordo com: (A) a classificação SEPLAT; (B) as 7 classes definidas por Folk (1954), utilizando a cartografia do portal EMODnet (https://www.emodnet-geology.eu/).

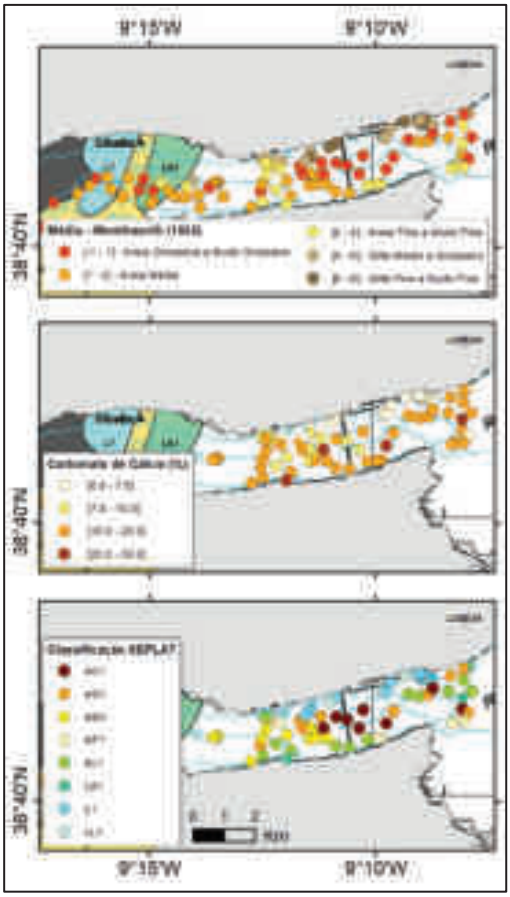


Fig. 4. Distribuição espacial do A) tamanho médio do grão e do B) teor em carbonato de cálcio dos sedimentos colhidos em 2015 e 2016, no Gargalo do Tejo. C) Classificação dos sedimentos de acordo com o sistema classificativo SEPLAT.

REFERÊNCIAS

Folk, R. L. (195). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology,* 62, 344–359.

Hamilton, E. L.; Bachman, R. T. (1982). Sound velocity and related properties in marine sediments*, J. Acoust. Soc. Am.*, 72(6):1891–1904.

Instituto Hidrográfico (2005) – Sedimentos superficiais da plataforma continental. Folha SED5 (Cabo da Roca ao Cabo de Sines), 1ª Ed.

Kaskela, A.M.; Kotilainen, A.T.; Alanen, U.; Cooper, R.; Green, S.; Guinan, J.; van Heteren, S.; Kihlman, S.; Van Lancker, V.; Stevenson, A.; the EMODnet Geology Partners (2019). Picking Up the Pieces—Harmonising and Collating Seabed Substrate Data for European Maritime Areas. *Geosciences*, 9(2), 84.

Larsonneurs, C. (1977). La cartographie des dépôt meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche, *Journal Recherche Océanographique*, 2:34–39.

Mitchum, R. M. Jr.; Vail, P. R. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 7: Seismic stratigraphic interpretation procedure. *In*: Seismic Stratigraphy–App. Hydrocarbon Exp. Payton, C. E. (Ed.). *Am. Ass. Petrol. Geol.*, Mem. 26, 135 – 143.

Melo, R.; Rodrigues, A.; Saramago Santos, A.; Luz, C. (2020) - A importância da metainformação na re(utilização) dos dados da cartografia sedimentar. Actas 6as JEJ.

Vinhas, A. (2018) – Estratigrafia sísmica da plataforma continental ao largo da cadeia da Arrábida: contributo para o conhecimento da evolução pós-miocénica. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa. 80p. (não publicado).

Wentworth, C. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments, *The Journal of Geology*, 30(5), 377 – 392.

Santos, R.; Rodrigues, A. (2016). Estimativa do tamanho médio das partículas sedimentares no canal de embocadura do rio Tejo através da técnica "Angular Range Analysis" *Actas 4as JEH.*

Contributo para a cartografia sedimentar da plataforma da Ilha de Santa Maria (Arquipélago dos Açores)

Moreira, S. (1, 2); Vinhas, A. (1); Rodrigues, A. (1); Quartau, R. (1, 2); Santos, R. (1)

(1) Divisão de Geologia Marinha, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. sandra.moreira@hidrografico.pt.

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Resumo: O Programa SEDMAR (Mapeamento dos Sedimentos Marinhos), em execução no IH, sucessor do Programa SEPLAT (Cartografia dos Depósitos Sedimentares da Plataforma Continental), assenta numa abordagem multidisciplinar e tem por objetivo contribuir para o conhecimento e defesa do ambiente marinho, no continente e nas regiões autónomas da Madeira e dos Açores. Nesta comunicação será apresentado um primeiro esboço cartográfico da cobertura sedimentar da plataforma insular de Santa Maria (Arquipélago dos Açores), estudada no âmbito do projeto PLATMAR (FCT). No decorrer deste projeto, e com interesse para o SEDMAR, realizou-se um estudo da morfologia e da estrutura do fundo marinho na plataforma insular, que permitiu delimitar as áreas de afloramento rochoso e estimar a espessura dos depósitos sedimentares. Adicionalmente, estes últimos, foram caraterizados do ponto de vista textural e composicional através da análise sedimentológica de amostras discretas de sedimentos superficiais da plataforma em redor de Santa Maria.

Palavras-chave: ilha vulcânica, cobertura sedimentar, afloramento rochoso, mapeamento.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das caraterísticas geológicas do território submarino na área de interesse nacional, esteve sempre presente na missão do Instituto Hidrográfico (IH), criado em 1960. O Programa SEPLAT (*Cartografia dos Depósitos **Se**dimentares da **Plat**aforma Continental Portuguesa*), lançado em 1974 e totalmente financiado pelo Ministério da Defesa Nacional (MDN), foi responsável pela atualização e revisão das "Cartas Litológicas Submarinas" (1913 – 1941). Construídas com base na informação oriunda das mais diversas origens, estes documentos constituíram a primeira representação cartográfica da natureza dos fundos marinhos da plataforma continental portuguesa e, tendo em conta o desenvolvimento das ciências marinhas na primeira metade do séc. XX, colocam Portugal como um país na vanguarda do conhecimento sedimentológico da plataforma continental (Magalhães, 2001).

O Programa SEPLAT surgiu numa época de avanços tecnológicos, e foi assente numa abordagem sistemática (usando métodos diretos e indiretos) que incluiu levantamentos geofísicos, amostragem de sedimentos superficiais, e a aplicação de um esquema classificativo próprio assente nas caraterísticas texturais dos sedimentos e do teor em carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Assim sendo, no decorrer de inúmeras campanhas oceanográficas, obtiveram-se quase 13 mil amostras de sedimentos da superfície do fundo marinho ao longo de toda a costa oeste e sul de Portugal continental, desde a linha de costa até aos 500 m de profundidade, segundo uma malha de amostragem retangular, com espaçamento médio de uma milha náutica entre amostras. Essa malha foi reduzida para meia milha náutica nas áreas próximas da linha de costa. Adicionalmente, o recurso a métodos geofísicos (nomeadamente reflexão sísmica) permitiu a caraterização quer da cobertura sedimentar da plataforma interna assim como da cartografia dos afloramentos rochosos.

O produto final deste programa, foi a publicação da "Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Portuguesa", pertencente à "Série Sedimentológica". Esta é constituída por oito folhas, à escala de 1:150 000, e abrange toda a plataforma continental oeste e sul portuguesa, desde o litoral até aos 500 m de profundidade, não incluindo as regiões autónomas da Madeira e dos Açores.

Após a primeira edição das cartas, o IH, redefiniu a abordagem multidisciplinar e decidiu estender este conhecimento para áreas ainda inexploradas. Com este intuito, o programa SEPLAT deu origem ao programa SEDMAR (*Mapeamento dos **Sed**imentos **Mar**inhos*) que tem como grande objetivo mapear os sedimentos marinhos do território nacional, atualizando a cartografia existente e incorporando novas informações sobre a natureza do fundo marinho quer seja através da realização de campanhas de prospeção dedicadas a este fim, ou recorrendo a dados provenientes de campanhas oceanográficas com outros propósitos.

O Projeto de investigação PLATMAR (*Evolução de **plat**aformas insulares vulcânicas: A ilha de Santa **Mar**ia e implicações para avaliação de riscos, cartografia de habitats e gestão de agregados marinhos*) -PTDC/GEO-GEO/0051/2014, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e terminado recentemente, teve como objetivo o estudo

da plataforma insular e a compreensão dos processos que contribuíram para a sua morfologia atual. Os dados dos fundos marinhos adjacentes a esta ilha açoriana, adquiridos no âmbito deste projeto, do qual o IH é uma das instituições participantes, têm sido integrados no Programa SEDMAR.

Na presente comunicação pretende-se divulgar um primeiro esboço cartográfico da cobertura sedimentar da plataforma insular de Santa Maria, destrinçando as etapas que conduziram à sua conceção, as limitações existentes e trabalhos futuros para melhorar os produtos finais.

2. METODOLOGIAS

2.1. Trabalho de campo

Em 2016 e 2018, a bordo do N/I "Arquipélago" do Departamento de Oceanografia e Pescas da Universidade dos Açores, realizaram-se respetivamente duas campanhas oceanográficas no âmbito do projeto PLATMAR.

A primeira decorreu entre 24 de agosto e 15 de setembro de 2016, e teve como propósito a aquisição de informação batimétrica (levantamento multifeixe) e geofísica de alta resolução (reflexão sísmica monocanal de alta resolução e magnetómetro), entre os 10 e 300 m de profundidade.

A interpretação da informação resultante da primeira missão oceanográfica (Vinhas, 2018) sustentou o planeamento da amostragem da cobertura sedimentar, realizada entre 25 de agosto e 7 de setembro de 2018. Esta permitiu a recolha de 114 amostras de sedimentos de fundo da plataforma insular, com um amostrador Smith-McIntyre, até ~300 m de profundidade (Fig. 1). Adicionalmente, foram utilizadas 8 amostras de sedimento colhidas entre 15 e 20 de setembro de 2018, no decurso da campanha científica M150 do R/V "Meteor", com amostrador box-corer, entre os 145 e os 510 m de profundidade.

2.2. Processamento dos dados acústicos

Para o presente trabalho foram selecionadas 165 linhas de reflexão sísmica monocanal, com espaçamento regular de 500 m para cartografar a espessura de sedimentos (Vinhas, 2018).

2.3. Ensaios laboratoriais

Um total de 120 amostras de sedimento superficial foram submetidas a análise textural e composicional (teor em $CaCO_3$, estimado através do teor em carbono inorgânico total) nos laboratórios da Divisão de Geologia Marinha (IH). As metodologias aplicadas (peneiração mecânica, difração laser e espetrometria de absorção de infravermelhos) podem ser consultadas com maior detalhe em Quartau *et al.* (neste volume).

3. CARTOGRAFIA DA PLATAFORMA INSULAR DE SANTA MARIA

Um primeiro esboço da cartografia da plataforma da Ilha de Santa Maria está expresso na figura 1. Subjacentemente são detalhadas as etapas conducentes à sua produção e destacam-se os principais resultados.

3.1. Delimitação do bordo da plataforma insular

O bordo da plataforma insular posiciona-se onde ocorre uma mudança abrupta do declive do fundo marinho. A análise da superfície batimétrica, e respetivos pendores, permitiu aplicar este critério geomorfológico e delimitar externamente o ambiente de plataforma desta ilha açoriana (Fig. 1).

A quebra de pendor ocorre a profundidades variáveis; no entanto, para efeitos cartográficos, considerou-se que o bordo da plataforma insular coincide com a isobata dos 140 m, separando a superfície relativamente aplanada e pouco inclinada (declives <3°) da plataforma, da superfície do talude onde os valores de inclinação são superiores a 10°. Esta delimitação colocou em evidência a assimetria na extensão da plataforma insular que, com uma área de cerca de 137 km^2, é mais desenvolvida no setor Norte (largura máx.: ~7 km), relativamente aos outros setores (extensões da ordem dos 2 km).

3.2. Tipo de substrato (Rocha/Sedimento)

Dada a resolução da superfície batimétrica (~1 m) foi possível distinguir visualmente, recorrendo a técnicas de sombreamento que conferem uma perspetiva 3D, as zonas de rocha aflorante e as de acumulação de sedimento. Esta cartografia foi complementada com a interpretação do mosaico de retrodispersão acústica e dos perfis de reflexão sísmica de alta resolução.

Na plataforma insular os afloramentos rochosos (65 km^2) ocupam uma área ligeiramente superior à da cobertura sedimentar (49 km^2) (Fig. 1), destacando-se o setor ocidental por ser quase exclusivamente composto por esta tipologia de substrato.

3.2. Caraterização da cobertura sedimentar

3.2.1. Espessura da cobertura sedimentar

A espessura da camada de sedimentos superficiais na plataforma da Ilha de Sta. Maria foi avaliada a partir da análise e interpretação dos perfis de reflexão sísmica. Após a identificação dos refletores correspondentes ao fundo marinho e à base da cobertura sedimentar, foi calculada a diferença em tempo duplo (*i.e.* tempo que o som demora a ser emitido, refletido na superfície e sub-superfície do fundo do mar e recebido pelos hidrofones) entre os dois refletores. Posteriormente, o valor obtido foi convertido em unidades métricas, utilizando o valor

médio da velocidade de propagação do som de 1800 m/s em areias médias a grosseiras (Hamilton e Bachman, 1982), sendo esta a dimensão granulométrica mais comum dos sedimentos depositados nesta plataforma insular (Quartau *et al.*, 2012; este volume). Os depósitos sedimentares tendem a ocorrer nas zonas externas da plataforma, em baías protegidas e em bacias controladas por falhas. Embora, a espessura média da cobertura sedimentar seja inferior a 2 m, nalgumas destas depressões estruturais foram medidos cerca de 20 m.

3.2.2. Caraterização textural e composicional dos sedimentos superficiais

Os sedimentos analisados são predominantemente arenosos, constituídos por mais de 63 % de partículas de diâmetro superior a 63 μm; 7 amostras apresentam os cascalhos como a classe dominante. O diâmetro médio varia entre 2,2 ϕ (areia fina) e -2,5 ϕ (cascalho fino), com exceção de uma amostra obtida a 511 m de profundidade (4,4 ϕ – silte grosseiro).

O conteúdo em $CaCO_3$ varia entre 18 e 100%, mas cerca de 78 % dos sedimentos apresentam teores superiores a 50 %.

Os resultados das análises texturais e composicionais (teor em $CaCO_3$) foram interpretadas com maior detalhe em Quartau *et al.* (este volume).

3.2.3. Classificação dos sedimentos superficiais e mapeamento da cobertura sedimentar

O esquema classificativo vigente nas Cartas SEPLAT tem por base a classificação estabelecida por Larsonneur (1977), que define 48 sub-classes a partir de 12 classes texturais e 4 classes composicionais. Como primeira aproximação ao mapeamento sedimentar da plataforma insular de Santa Maria, decidiu-se aplicar o mesmo esquema classificativo, apesar da natureza geológica ser manifestamente diferente, relativamente às áreas continentais.

Os sedimentos superficiais da área em estudo inserem-se em 19 sub-classes desse esquema classificativo. Todavia, cerca de metade das amostras estudadas (49%) são constituídas por areias grosseiras a cascalhentas bioclásticas (*i.e.* $CaCO_3 > 70\%$) (Fig.1).

Considerando a reduzida extensão da plataforma insular de Santa Maria e a variabilidade textural observada à escala subquilométrica, procedeu-se à simplificação do número de classes texturais para a construção do esboço cartográfico dos depósitos sedimentares desta plataforma insular (Fig. 1). As classes texturais Lodo Arenoso (LA) e Areia Lodosa (AL) não foram consideradas, dado que para cada uma das classes apenas foi identificada uma única amostra já em domínio de talude insular (~500 m de profundidade). Outra simplificação consistiu na agregação das amostras constituídas por mais de 15 % de partículas de dimensão superior a 2 mm (*i.e.* cascalho), na classe textural designada por Areia Cascalhenta e Cascalho (AcC). Esta generalização advém da ocorrência de um número reduzido de amostras com mais de 50 % de cascalho (4 amostras de Cascalho Arenoso (CA), 2 amostras de Cascalho Fino (CF) e uma amostra de Cascalho Grosseiro (CG)), vastamente dispersas na área de estudo.

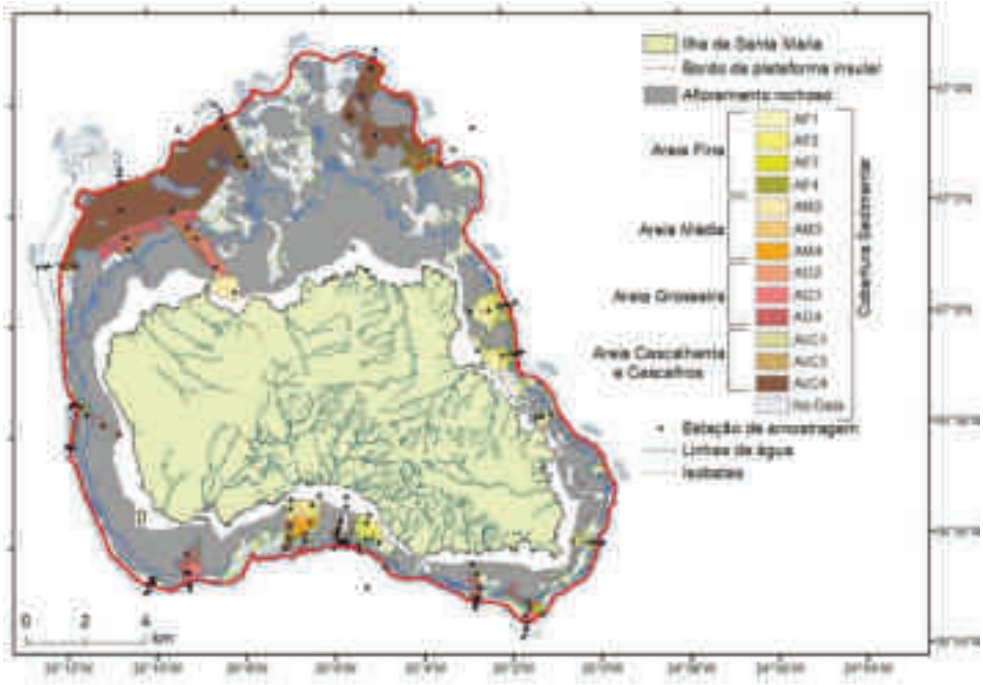


Fig. 1. Mapeamento da cobertura sedimentar da plataforma da Ilha de Santa Maria (Sistema de Coordenadas UTM: PTRA08, Zona 26N). Consultar o sub-capítulo 3.3.3 e www.hidrografico.pt/op/40 para informação relativa à classificação dos depósitos sedimentares.

A amostragem existente permitiu cartografar, de modo grosseiro, cerca de 49 % da área da plataforma coberta por sedimentos. Entre os vários depósitos identificados, destacam-se as Areias Cascalhentas e Cascalhos Bioclásticos (AcC4) (Fig. 1) que correspondem a 28 % da cobertura sedimentar.

4. DISCUSSÃO

Somente 43% da plataforma insular de Santa Maria está coberta por sedimento, mas a amostragem existente não é suficientemente densa para cobrir a totalidade dos depósitos sedimentares e para a fiel delimitação dos mesmos. Todavia, com base nos depósitos representados na Fig. 1 é possível observar a ocorrência de algum zonamento textural. Os sedimentos de textura mais fina tendem a acumular-se nas zonas mais próximas da linha de costa, especialmente no sector leste e sul, ocorrendo um incremento do tamanho do grão, com o aumento da profundidade, até ao bordo da plataforma. É nesta zona mais externa que ocorrem os depósitos mais grosseiros (e.g. AcC).

Relativamente ao teor em $CaCO_3$, também ocorre um enriquecimento significativo desta componente com a profundidade, ao ponto de as partículas de origem biogénica serem o constituinte maioritário do sedimento.

De um modo geral, nas plataformas a norte e a oeste observa-se a deposição de sedimentos mais grosseiros e com maior teor em $CaCO_3$, comparativamente à sedimentação que ocorre nas zonas mais protegidas do setor sul e leste.

5. CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado sintetiza o conhecimento adquirido recentemente no que diz respeito à natureza do fundo oceânico adjacente à ilha de Santa Maria, e que serve de ponto de partida para a cartografia da cobertura sedimentar da sua plataforma insular.

A morfologia submarina é maioritariamente dominada por extensos afloramentos rochosos, encontrando-se a cobertura sedimentar, com uma espessura média <2 m, fortemente controlada pela estrutura geológica vulcânica.

De uma forma geral, e aplicando o esquema classificativo das cartas sedimentológicas publicadas, observa-se um incremento do tamanho geral do grão com a profundidade. Os depósitos proximais são essencialmente compostos por areias finas a médias constituídas predominantemente por partículas terrígenas (AF1, AF2, AM2), contrastando com os depósitos mais externos, em particular os da plataforma norte que correspondem a AcC4 (Areia Cascalhenta e Cascalho bioclástica).

Considerando a grande diversidade morfológica e o reduzido número de amostras, é importante a aquisição de dados adicionais ou a utilização de outras ferramentas como a caraterização remota do tipo de fundo, para a realização do mapeamento sedimentar com um menor grau de subjetividade.

Pretende-se, então, efetuar a cartografia da plataforma insular de Santa Maria através da análise da retrodispersão que as ondas acústicas sofrem após incidirem na superfície do fundo marinho. Essa análise inclui utilizar o algoritmo ARA – Angular Range Analysis, permitindo estimar o tamanho médio do grão ao longo de toda a cobertura sedimentar onde foi efetuado o levantamento hidrográfico.

Agradecimentos

Os dados que suportam este trabalho, foram obtidos no âmbito do projeto PTDC/GEO-GEO/0051/2014 (PLATMAR). Os autores agradecem as amostras que foram adquiridas no cruzeiro M15 BIODIAZ e gentilmente cedidas por Kai George, e a todos os que estiveram envolvidos na aquisição dos dados e na análise laboratorial das amostras.

REFERÊNCIAS

Hamilton, E. L. e Bachman, R. T. (1982). Sound velocity and related properties in marine sediments, *Journal of the Acoustical Society of America*, 72(6), 1891 – 1904.

Larsonneurs, C. (1977). La cartographie des dépôt meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche, *Journal de Recherche Océanographique*, 2, 34–39.

Magalhães, F. (2001). Os sedimentos da plataforma continental portuguesa: Contrastes espaciais, perspectiva temporal, potencialidades económicas. Documentos Técnicos do IH, 34. 287 pp.

Quartau, R., Tempera, F., Mitchell, N.C., Pinheiro, L.M., Duarte, H., Brito, P.O., Bates, R. E Monteiro, J.H. (2012). Morphology of the Faial Island shelf (Azores): the interplay between volcanic, erosional, depositional, tectonic and mass-wasting processes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13, Q04012.

Quartau, R., Moreira, S., Zhao, Z., Ávila, S, Bizarro, A. (2020). Sedimentary processes on shelves of volcanic ocean islands (Santa Maria in Azores archipelago). Actas das 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica.

Vinhas, A. (2018). Projeto PLATMAR: Relatório dos trabalhos de processamento e interpretação sísmica. REL PT03/18. Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal. 19 pp.

Critical flood conditions in two beaches of the Portuguese central west coast

Freire, P. (1); Oliveira, F. S. B. F. (1); Oliveira, J. N. C. (2)

(1) National Civil Engineering Laboratory, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisbon, Portugal, pfreire@lnec.pt.

(2) CERIS, Instituto Superior Técnico, Lisbon University, Av. Rovisco Pais 1, 1049-00 Lisbon, Portugal.

Abstract: Coastal flooding is expected to be one of the major impacts of climate change in the Portuguese continental territory. In this study beach morphological indicators and hydrodynamic forcings, assessed through field data, allow a comparative analysis of overtopping and flooding conditions in two beaches located in the Portuguese central west coast, Cova-Gala and São Pedro de Moel, during recent events. Results show that for the same hydrodynamic conditions beaches are differently affected. Water level and beach cross-shore profile gradient seem to be the main triggering factors for overtopping occurrence in Cova-Gala. In São Pedro de Moel beach, wave set-up and incoming wave direction can force inland inundation independently of the beach morphological state. These outcomes point out the importance of a comprehensive knowledge of the local factors in adequate flood hazard predictions and mitigation measures development.

Key words: beach typology, coastal flooding, critical flood conditions, Portuguese central west coast.

1. SCOPE AND OBJECTIVE

Worldwide, about 600 million inhabitants live in low elevation coastal zones that are potentially exposed to coastal flooding hazard (Kirezci *et al.*, 2020). As a direct impact of sea level rise, higher and more frequent coastal flooding episodes will have enormous socio-economic impacts in the future (Kulp *et al.*, 2019). Past coastal flooding occurrences impact show the vulnerability of the Portuguese coastline to this hazard (Barros *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2015). Coastal flooding occurs due a temporary increase in sea level. Different factors contribute to this hazard, as meteorological and oceanographic conditions, and territorial coastal zone specificities, such as the geomorphology and the structures presence. The contributing factors for coastal flooding in two beaches located in the Portuguese central west coast during recent events are evaluated in this study.

2. STUDY AREAS

Two beaches vulnerable to coastal flooding and presenting different coastal typologies were chosen (Figure 1): Cova-Gala, located south of the Mondego river mouth south jetty, in Figueira da Foz, and São Pedro de Moel located 4 km further south. Cova-Gala is a sandy beach-dune system with a coastline length of approximately 2 km and a main alignment of 5°N. In the last five decades the beach has been changed due to several human interventions (Freire *et al.*, 2020), presenting nowadays five groynes and a seawall in its southern half sector. For the present study a stretch located in the southern sector of the beach with about 190 m, between two groynes and limited in the backshore by a seawall, was chosen (Figure 1). Seawall average height in this location is 8.5 m above MSL (Mean seal level). Several infrastructures are present on the seawall top as a pedestrian platform with urban furniture. São Pedro de Moel beach is an embedded narrow beach with a coastline with approximately 400 m in length and main alignment of 25°N, limited by an active cliff at both extremes (Figure 1). Backshore, the beach presents a seawall with varying height between 5 and 7 m, and further south an alongshore defence structure with a southwards increasing height. On top of these structures several infrastructures are present as: a road, a square, a pedestrian path, and a view point with urban furniture. At the lower foreshore the beach shows rocky outcrops that are alternately covered and uncovered by sand.



Fig. 1. Location of Cova-Gala and São Pedro de Moel beaches and studied cross-shore profiles (P10 and P11 in the first and P1, P2 and P3 in the second beach, respectively).

3. METHODOLOGY

Between February 2019 and March 2020 the morphological characteristics of the two beaches were monitored, through GNSS surveys using a Topcon Hiper Pro receiver. Data acquisition and treatment details are provided in Freire *et al.* (2020). Several morphological indicators were calculated, based on Carapuço *et al.* (2016), for profiles P10 and P11 at Cova-Gala and profiles P1, P2 and P3 at São Pedro de Moel: beach average width, beach average elevation and beach volume per unit length. Indicators were calculated between the coastline position (beach upper limit, presently corresponding to the defence structure base) and 1 m above MSL. Two overtopping and flooding events that occurred during the survey period were selected: 21/02/2019 and 22/12/2019. Hydrodynamic forcing conditions were characterized based on available data and the water level, measured in Figueira da Foz tide gauge, was provided by the Portuguese Hydrographic Institute (IH). An indicator of surge level was obtained comparing measured data with predicted levels for the same location (available in http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html). Wave conditions were characterized using the Leixões coastal wave buoy data (provided online by the IH - http://www.hidrografico.pt/m.boias) through the following statistical parameters: maximum wave height (Hmax), significant wave height (Hs), peak period (Tp), and wave direction in the peak period (Dir). Meteorological conditions were provided for the Ferrel meteorological station by IH (Figure 1).

4. RESULTS

4.1. Overtopping and flooding events

On 21/02/2019, evidences of Cova-Gala seawall overtopping near profiles P10 and P11, during the first high tide level (04:00), were observed without noticeable impacts. In the afternoon high water level, extensive overwash of the dune located south of the southernmost groyne occurred promoting inland inundation with 30 m incursion (Figure 2). In São Pedro de Moel beach the water reached the seawall in profile P1 surrounding area but no overtopping took place. On 22/12/2019, oral testimonials mention overtopping of the seawall in P10 and P11 Cova-Gala beach profiles, and overflowing between P11 and the goyne. In São Pedro de Moel extensive downtown inundation occurred in profile P1 sector (Figure 2). The inundation took place around 12:00 near high tide level. Flooding impacts included people and vehicles circulation disruption and debris deposition on public roads. Maximum inland water incursion was about 30 m. Oral testimonies indicated this was the worst event affecting the village downtown after 2014 Hercules storm. Water level and wave parameters in the events days and the oceanographic and meteorological conditions during the events are presented in Figure 3 and Table I, respectively. Both events occurred during spring high tide levels. During the February event water level is higher, corresponding to the second highest level of the year measured in Figueira da Foz. The December event was influenced by the storm Fabien that affected Portugal, Spain and France between 21 and 22 December, and was characterised by persistent and intense precipitation, wind from the south quadrant with strong or very strong intensity and energetic wave conditions. Wave climate characterization in front of Cova-Gala (at the position with geographic coordinates 9°00'W and 40°00'N), presented by Oliveira (2016) for the period 1952-2010, shows that significant wave height during the December event reached values above the 99th percentile (Hs>6.5 m correspond to 0.95% of the occurrences).



Fig. 2. Cova-Gala dune overwash on 21/02/2019 (photo above) and São Pedro de Moel inundation on 22/12/2019 (photo below).

4.2. Morphological indicators

Results show that the survey prior to the December event (28/11/2019) corresponds to the less robust situation in Cova-Gala beach profiles P10 and P11. In this survey the three morphological indicators present the lowest values (Figure 4). On 21/02/2019 the beach shows a completely different morphological condition, in both profiles, as beach volume and average elevation is above all survey's average values. In this survey, only the beach width in profile P10 is lower than the average value in that survey. Prior to both events differences in the cross-shore morphology of the two surveys are evident (Figure 5): in November both profiles present lower elevation at the upper limit of the foreshore and profile P10 gradient is lower. The morphological indicators for São Pedro de Moel beach show profile P1 (located in the beach sector where the overtopping and flooding

occurred) presents a smaller beach width in all surveys (Figure 6). Before both February and December events, average beach width shows high values when compared to the other surveys. Also, on November 2019 beach volume is the second highest value observed. In both surveys, elevation of the foreshore upper limit is similar as is the cross-shore morphology, including the profile gradient. One can argue whether the November survey is representative of the beach morphological conditions immediately prior to the December event. Indicators comparison between the 28/11/2019 and 21/01/2020 surveys shows that no relevant changes occurred during this period.

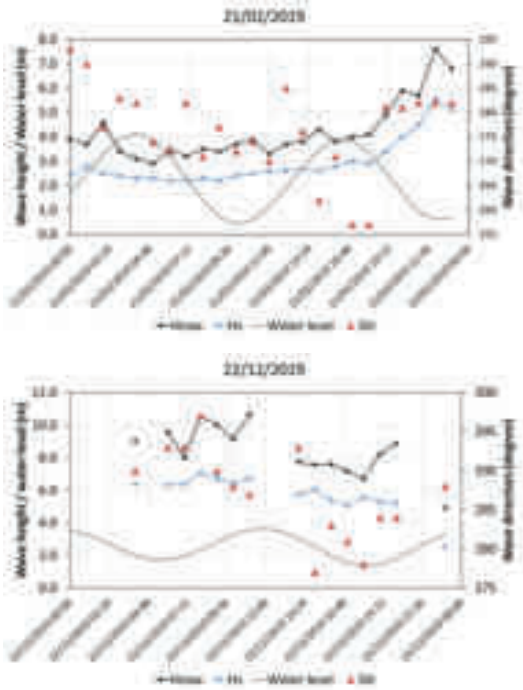


Fig. 3. Water level and wave conditions during the days of the events: 21/02/2019 (above panel) and 22/12/2019 (bellow panel).

*Table I. Oceanographic and meteorological characteristics during the events. * data observed at 11:00 due to equipment failure, ** data not available due to equipment failure.*

	21/02/2019 04:00	22/12/2019 12:00
Water level (m)	4.2	3.6
Surge indicator (m)	0.1	0.3
Hmax (m)	3.1	10.7*
Hs (m)	2.3	6.7*
Tp (s)	17.3	15.4*
Direction (degrees)	282	287*
Hourly wind average/maximum intensity (m/s)/direction (degree)	4.5/5.8/120.5	**
Minimum atmospheric pressure (hPa)	115.9	**

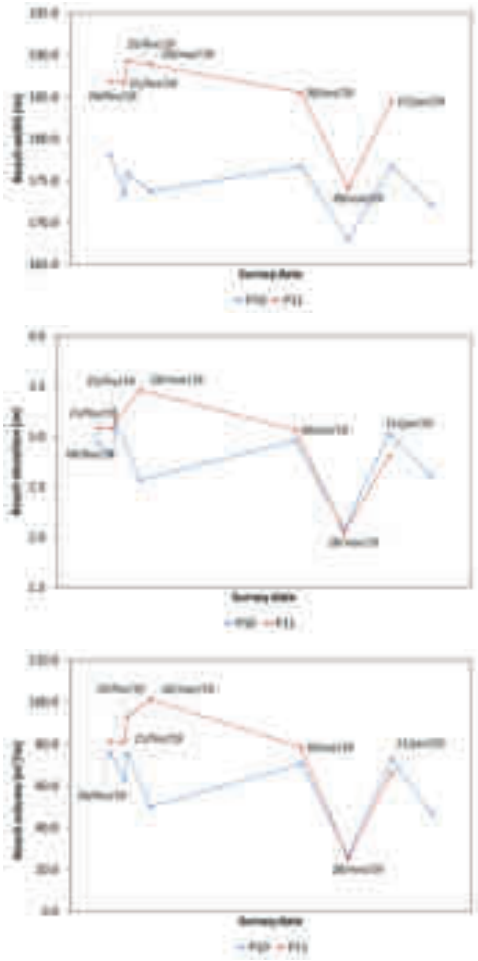


Fig 4. Morphological indicators of Cova-Gala beach: beach width (above), beach elevation (middle) and beach volume (bellow).

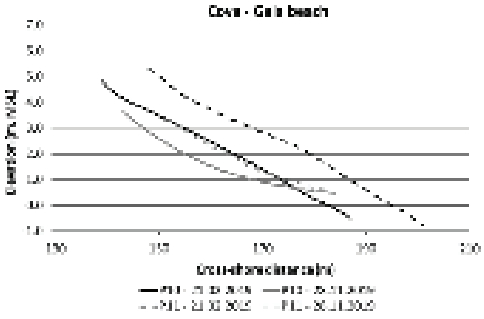


Fig. 5. Cova-Gala cross-shore beach profiles prior to the overtopping and flooding events.

5. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The present analysis aim to identify the critical conditions for overtopping and flooding occurrences in two beaches with different typology. The two studied events had different forcing conditions: in February, high water level was mainly forced by high spring tide, while in December extreme energetic wave conditions adding storm surge (low pressure and strong winds) contributed to high sea levels. Cova-Gala beach is affected in both situations, but beach morphological conditions (lower foreshore and

lower profile gradient) must have contributed for the higher impact of the December event.

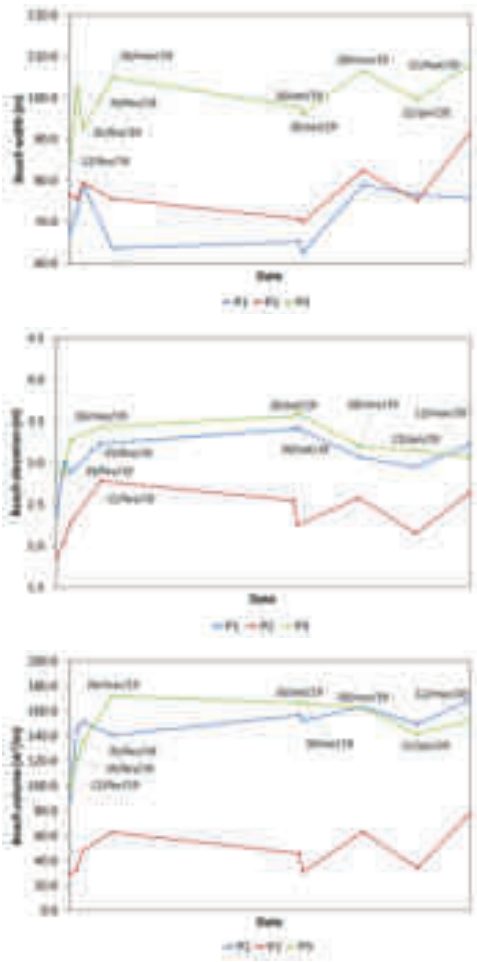


Fig. 6. Morphological indicators of São Pedro de Moel beach: beach width (above), beach elevation (middle) and beach volume (bellow).

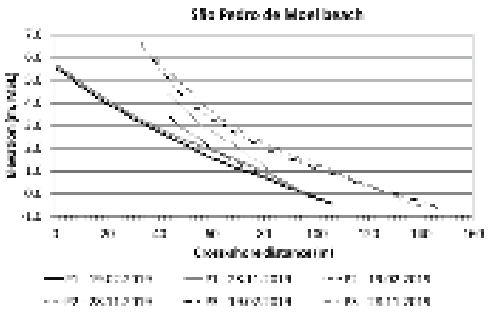


Fig. 7. São Pedro de Moel cross-shore beach profiles prior to the overtopping and flooding events.

São Pedro de Moel beach was only affected by the December event, despite more robust beach morphological condition than in February. Another energetic wave event (Hs>7 m; dir=316º) occurred within the study period, in 14/11/2020, but despite a similar tidal level to the December event, no overtopping occurred due to higher wave obliquity. Results show that the morphological state of the São Pedro de Moel beach is not sufficient to explain flooding occurrences. In this beach wave set-up and incoming wave direction seem to be decisive hazard factors. High wave heights with smaller obliquity reach the beach with more energy, promoting inland inundation. Results show the relevance of local level information in supporting more accurate overtopping and flood hazard predictions.

Acknowledgements

The work presented was funded by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (Project MOSAIC.pt - PTDC/CTA-AMB/28909/2017). João Nuno Oliveira was also funded by FCT (Ph.D. Grant PD/BD/128508/2017). The authors thank the Instituto Hidrográfico for the data provided, Luís Simões Pedro, Maria João Henriques and Hugo Silva for field data acquisition, Fernando Brito for data processing, and Cristina Coelho for the São Pedro de Moel flooding image and local information.

REFERENCES

Barros, J.L., Freire, P., Perdiz, L., and Tavares, A. O. (2020). Flooding Occurrences in the Portuguese Continental Coastal Zone: A Database for the Period 1980-2018. *E-proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*, Venice, 7p.

Carapuço, M.M., Taborda, R., Silveira, T.M., Psuty, N.P., Andrade, C., and Freitas, M.C. (2016). Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Reviews*, 154, 183-190.

Freire, P., Oliveira, F.S.B.F., and Oliveira, J.N. (2020). Coastal flooding process: Comparing different coastal typologies response to extreme hydrodynamic conditions. In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), *Journal of Coastal Research*, SI 95, 797–802.

Kirezci, E., Young, I.R., Ranasinghe, R., Muis, S., Nicholls, R.J., Lincke, D., and Hinkel, J. (2020). Projections of global scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st. Century. *Scientific Reports*, 10, 11629, 12p.

Kulp, S.A., and Strauss, B.H. (2019). New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications,* 10, 4844, 12p.

Oliveira, J. N. C. (2016). *Modelling the impact of the extension of the north jetty of the Mondego river inlet on the adjacent southern beaches*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. IST, 84p (in Portuguese).

Santos, A., Mendes, S., and Corte-Real, J. (2015). Impacts of storm Hercules in southwestern Europe. *Lecture Notes in Science*, 7, 39-48.

O contributo de fontes históricas para a avaliação da vulnerabilidade à inundação em estuários

Rilo, A. (1,3); Tavares, A. (2); Freire, P. (1); Zêzere, J. L. (3)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) arilo@lnec.pt.

(2) Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (DCT-UC).

(3) Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, IGOT, Universidade de Lisboa (IGOT-UL).

Resumo: Os estuários são áreas complexas onde coexistem múltiplos fatores forçadores do processo de inundação, como as marés, sobrelevação meteorológica ou o caudal fluvial. Simultaneamente são áreas intensamente ocupadas onde frequentemente estão localizadas infraestruturas críticas. A subida do nível médio do mar vem colocar novos desafios à gestão da inundação nestes sistemas. Assim, a informação histórica é de grande valor para caracterizar o processo de inundação, mas também para o conhecimento da sua dimensão societal. Neste trabalho faz-se uma caracterização dos fatores forçadores e danos com base em fontes históricas, usando como caso de estudo o estuário do Tejo. É analisado o processo metodológico de extração da informação destas fontes, as suas potencialidades e limitações e demonstra-se que a obtenção de informação robusta para avaliação da vulnerabilidade depende de fontes detalhadas e sistemáticas aliadas à aplicação de técnicas coerentes e replicáveis.

Palavras-chave: análise de conteúdo, estuários, fontes históricas, inundação.

1. INTRODUÇÃO

As margens estuarinas encontram-se frequentemente ocupadas e com grande densidade populacional, estando sujeitas a elevado risco de inundação, como demonstram por exemplo os impactos da tempestade Xynthia em França (Kolen *et al.*, 2013) ou do furacão Katrina nos Estados Unidos da América (Jonkman *et al.*, 2009).

A complexidade do processo de inundação aliada a uma ocupação territorial diversa e frequentemente densa, coloca vários desafios aos atores que gerem as áreas estuarinas. Assim, a gestão do risco de inundação em estuários requer a integração de informação sobre fatores forçadores e danos para uma avaliação mais robusta da vulnerabilidade.

A relevância das fontes históricas para a extração de dados relativos a forçadores e danos, bem como as suas vantagens e limitações, têm sido discutidas na literatura (p.ex. Ibsen e Brunsden, 1996), sendo referenciada a sua utilidade pela visão temporal alargada que pode fornecer, bem como pelo detalhe sobre danos.

A extração de informação de fontes escritas, audiovisuais ou mesmo dos modernos *social media* pode ser realizada de diferentes formas, sendo as técnicas de análise de conteúdo as mais usadas. Este conjunto de técnicas tem origem no início do século XX na Escola de Jornalismo de Columbia (Estados Unidos da América) onde as fontes analisadas eram jornais (Bardin, 2020). No entanto, só nas décadas de 1950 e1960, se assiste à expansão e desenvolvimento destas técnicas e à sua aplicação a diferentes disciplinas e tipologias de fontes, e ao alargamento e desenvolvimento da teoria epistemológica. Mais recentemente merece menção o desenvolvimento metodológico associado à informatização e automação de alguns processos de análise, e ao uso de *software* desenhado para auxiliar na aplicação destas técnicas de que são exemplos o NVivo, o ATLAS.ti ou o MAXQDA (Krippendorf, 2004; Bardin, 2020). Assim, "*a análise de conteúdo é uma técnica de investigação que permite fazer inferências replicáveis e válidas de textos (ou outro material) tendo em conta o contexto do seu uso*" (tradução livre de Krippendorf, 2004, p.18). Esta técnica envolve vários procedimentos e etapas (Figura 1) que, embora possam ser aplicados cronologicamente, mantêm entre si ligações dialéticas, na medida em que, por exemplo, os resultados obtidos podem conduzir a novas hipóteses e a nova análise dos mesmos documentos.

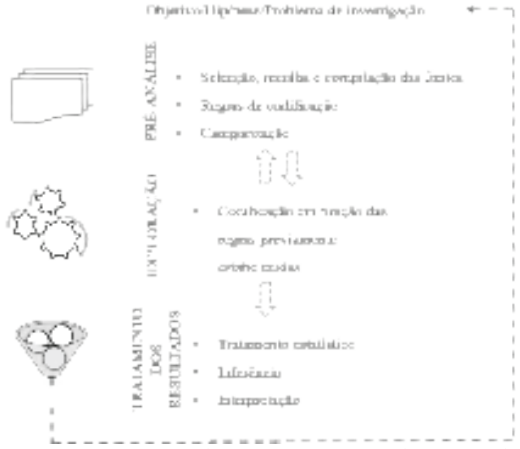


Fig. 1. Síntese teórica das principais etapas de uma análise de conteúdo (elaboração dos autores a partir de Bardin, 2020).

A etapa de pré-análise inicia-se com o estabelecimento do objetivo ou hipótese de análise e a seleção, recolha e compilação das fontes. A amostra de documentos a analisar deve ser representativa e

homogénea, ou seja, deve seguir critérios rigorosos de escolha e ainda ser pertinente para responder ao objetivo estabelecido (Bardin, 2020).

A codificação corresponde ao estabelecimento das regras a seguir para a transformação da informação (Tabela I) e constitui por isso um passo importante no processo de análise de conteúdo. Finalmente, a categorização é a operação de junção em rubricas ou classes das unidades de registo segundo um critério, que pode ser temático ou de dimensões de análise. É frequente as unidades de registo serem classificadas em indicadores temáticos que depois são categorizados.

Tabela I. Exemplos de tipologias de regras de codificação (a partir de Bardin, 2020).

	Codificação
Tipos de unidades de registo	Palavra(s); tema(s); personagem; objeto; etc.
Tipo de unidade de contexto	Excerto da fonte
Tipos de regras de contagem	Presença/ausência; frequência; ordem; co-ocorrência; etc.

A etapa de exploração (Figura 1) corresponde à aplicação sistemática das regras previamente estabelecidas às fontes, sendo por isso frequentemente a etapa mais demorada. Finalmente o tratamento dos dados é a etapa final e compõe-se do tratamento estatístico mais ou menos complexo (desde simples contagens até à análise multivariada) e sua interpretação.

No presente trabalho apresenta-se a aplicação de técnicas de análise de conteúdo a um conjunto de fontes históricas (jornais e revistas) relativas ao caso de estudo do estuário do Tejo. Pretende-se explorar a metodologia de extração de informação, e discutir a relevância deste tipo de fontes e de informação na avaliação da vulnerabilidade à inundação em estuários.

2. CASO DE ESTUDO: ESTUÁRIO DO TEJO

O estuário do Tejo localiza-se na costa ocidental portuguesa, sendo o maior sistema estuarino em território nacional, tendo as suas margens sido afetadas ao longo do último século por diferentes episódios de inundação (Muir-Wood, 2011; Freire *et al.*, 2016).

O estuário é um sistema mesotidal com marés semidiurnas em que a amplitude de maré varia entre 0,55 m e 3,86 m (em Cascais) (Guerreiro *et al.*, 2015), sofrendo um aumento dentro do estuário devido a efeitos de ressonância (Fortunato *et al.*, 1999). Os níveis de inundação no interior do estuário são forçados sobretudo pela combinação da maré e de episódios de sobrelevação meteorológica, a jusante, e por caudais fluviais extremos, a montante (Guerreiro *et al.*, 2015, Fortunato *et al.*, 2017). A principal afluência fluvial provém do rio Tejo, que drena uma extensa bacia hidrográfica, modificada ao longo do último século pela construção de barragens, levando à alteração do regime de descargas fluviais do Tejo.

Ao longo das duas margens do estuário desenvolve-se a maior área metropolitana do país, com 18 municípios, uma população residente em 2018 de cerca de 1 milhão e meio de pessoas (INE, 2020), várias infraestruturas críticas e uma densa rede rodoviária.

3. MÉTODOS

A recolha e compilação inicial das fontes históricas, foi feita no âmbito do Projeto DISASTER (Zêzere *et al.*, 2014) e cedida para este trabalho. No referido projeto foi feita uma recolha sistemática dos jornais diários portugueses com notícias de desastres hidro-geomorfológicos ocorridos em todo o território português entre 1865 e 2010. Devido à relevância económica e social da área metropolitana de Lisboa, no presente trabalho foram apenas considerados jornais nacionais, filtrados, usando como critério terem notícias de episódios de inundação na área metropolitana de Lisboa. Este conjunto de fontes foi completado com fontes jornalísticas e institucionais até 2013 (Rilo *et al.*, 2017). No total foram analisados 147 jornais (Tabela II).

Tabela II. Listagem das fontes históricas consultadas e sua tipologia.

Fonte	*Cobertura temporal*
Diário de Notícias (J)	1864-2013
Jornal de Notícias(J)	1888-2013
O Século(J)	1880-1978
Público (J)	1990-2013
Correio da Manhã(J)	1979-2013
24 horas(J)	1998-2010
Ilustração(R)	1926-1939
O Século Ilustrado(R)	1933-1989

(J) - jornal; (R) - revista

Posteriormente foram definidas as regras de codificação (Tabela III) e categorização. Na análise de conteúdo às fontes, sempre que a informação reportava uma ocorrência previamente extraída de outra fonte (outro jornal), procurou-se confirmar e completar a informação dessa ocorrência, de forma a não duplicar os registos.

Para assegurar que eram apenas selecionadas ocorrências de inundação estuarina definiu-se a seguinte regra a aplicar transversalmente às fontes: é considerada inundação estuarina qualquer ocorrência relatada nas fontes que se situe entre Oeiras e Vila franca de Xira (considerados como os limites jusante e montante do estuário) e, entre a linha de máxima preia-mar de águas vivas equinociais (limite superior do domínio intertidal (Rilo *et al.*, 2014)) e a cota de 20 m acima do nível médio do mar. Foi ainda definido que uma ocorrência corresponde a um local geograficamente definido e descrito nas fontes, que tenha sido afetado por um episódio de inundação, independentemente da sua severidade. Um evento corresponde a um conjunto de ocorrências com a mesma data ou identificadas nas fontes como fazendo

parte do mesmo episódio de inundação (Santos *et al.*, 2014; Rilo *et al.*, 2017).

Tabela III. Regras de codificação a aplicar às fontes históricas jornalísticas selecionadas para o caso de estudo.

	Codificação
Unidade de Registo	Temática: quais os fatores forçadores e danos devidos a episódios de inundação no estuário do Tejo
Unidade de Contexto	Excerto da fonte escrita
Regra de contagem	Presença/ausência (Sim/Não) Obs: na – não aplicável

A informação extraída foi armazenada numa base de dados (BD) de danos de inundação. A exploração estatística e respetiva metodologia desta BD encontra-se publicada em Rilo *et al*. (2017).

4. RESULTADOS

Os resultados mostram que a aplicação de técnicas de análise de conteúdo é capaz de extrair de forma consistente e coerente informação que se encontra frequentemente dispersa. O exemplo da Tabela IV mostra que foi possível extrair informação sobre a maioria dos fatores forçadores (com exceção dos fatores antropogénicos) e danos (com exceção dos danos humanos) com algum nível de detalhe. De notar que o episódio de inundação de fevereiro de 1941 tem registos de várias perdas humanas (p.ex. Rilo *et al.*, 2017; Muir-Wood, 2011); no entanto, o exemplo apresentado refere-se a uma ocorrência concreta, ou seja, a uma localização sobre a qual nas fontes não estão reportadas perdas humanas.

A aplicação das técnicas de análise de conteúdo à totalidade das fontes jornalísticas produziu um total 235 ocorrências, a que correspondem 44 eventos, 98% das quais com base em jornais, compreendidos entre 1865-2013 e cuja exploração estatística em detalhe se encontra em Rilo *et al.* (2017

Tabela IV. Categorias consideradas e respetivo indicador, unidade de contexto e contagem. Exemplo da descrição de uma ocorrência do evento de 1941 retirado da análise do Diário de Notícias de 17/02/1947 e do Jornal o Século de 16/02/194.

na – não aplicável; (A) presume-se ser a atual Praça 7 de Maio; (B) conhece-se o limite, não se conhece a extensão em área.

CATEGORIAS	INDICADORES	EXEMPLO (unidade de contexto)	CONTAGEM
C1 DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA	Data da ocorrência	15/02/1941	na
	Fonte	Diário de Notícias	na
	Data da fonte	17/02/1947	na
	Rua	"(…) chegava com grande altura até à praça Sousa Martins – caso poucas vezes verificado (…)"[1]	na
	Localidade	Praça Sousa Martins, Alhandra (A)	na
	Freguesia	Alhandra	na
	Concelho	Vila Franca de Xira	na
C2 CARATERIZAÇÃO DA INUNDAÇÃO	Extensão	"(…) chegava com grande altura até à praça Sousa Martins – caso poucas vezes verificado (…)" (B)	sim
	Altura	"(…) inundada com a altura de mais de um metro de água (…)"	sim
C3 FATORES FORÇADORES	Precipitação	"temporal" "tempestade"; "a chuva caía em bátegas (…)" - retirado do Jornal O Século	sim
	Vento /ondas	"(…) a água levantada pela força do vento irrompia do cais (…)": "entretanto o vento prosseguia (…) arrancando telhados (…)"	sim
	Baixa pressão	vento de 127 km/h e pressão de 713mm às 15h de dia 15- informação retirada do Jornal O Século	sim
	Marés	"(…) auge do ciclone coincidiu com o colo de preia-mar de água vivas (…)" - informação retirada do Jornal O Século	sim
	Descarga Fluvial	"temporal" "tempestade" – não discriminada	sim
	Outros fatores antropogénicos	Sem informação	não
C4 DANOS	Físicos/infraestruturas	"ajudar a furtar à fúria das águas os haveres dos locatários das lojas"; "inundando inúmeras casas de comerciais e de habitação" – danos em lojas e casas de habitação	sim
	Económicos	"ajudar a furtar à fúria das águas os haveres dos locatários das lojas" / "fragata afundara com 500 barricas de cimento" – não discriminados	sim
	Perdas Humanas	Sem informação	não
	Interrupção da circulação	"nas ruas circularam botes (…)"; "(…) impedindo completamente o trânsito (…)"; "as águas cobriram também a via férrea entre Alhandra e Alverca" – interrupção do circulação e transporte rodo e ferroviário	sim
	Disrupção de funções	"nas ruas circularam botes (…)"; "(…) impedindo completamente o trânsito (…)"; "as águas cobriram também a via férrea entre Alhandra e Alverca"	sim
	Degradação ambiental	"levando para grandes distâncias os destroços (…) – destroços e lixos	sim
	Envolvimento Institucional	"(…) é justo salientar o trabalho dos bombeiros voluntários (…); "(…) presidente da Câmara esteve várias vezes nesta vila (…)"	sim

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados demonstram a capacidade que a aplicação de técnicas de análise de conteúdo tem para a extração de informação de forma coerente, replicável e metódica, passível de ser tratada estatisticamente através de análise multivariada de dados qualitativos por forma a ser possível tirar conclusões robustas (Rilo *et al.*, 2017).

A utilização deste tipo de fontes é especialmente relevante na obtenção de um quadro temporal detalhado dos danos de inundação estuarina, sendo também uma fonte acessível e de reporte sistemático no tempo. Por outro lado, este tipo de fontes tem limitações que devem ser consideradas quando se interpretam os resultados (Figura 1). São exemplos das limitações o facto de reportarem muito mais episódios de inundação com elevados danos (por exemplo perdas humanas), preterindo o reporte de eventos menos danosos, ou a fraca exatidão científica em especial no que se refere aos fatores forçadores. No caso vertente verificou-se ainda que a quantidade de informação existente era maior na área urbana de Lisboa e concelhos limítrofes, devido à importância socioecónomica da capital, devendo este enviesamento ser considerado na interpretação.

A avaliação da vulnerabilidade à inundação depende simultaneamente do conhecimento dos fatores forçadores e da tipologia e dimensão dos danos provocados. Deste modo, a utilização de fontes detalhadas e temporalmente sistemáticas, bem como a aplicação de métodos e técnicas coerentes e replicáveis, constituem importantes ferramentas para a obtenção de informação robusta para a avaliação da vulnerabilidade à inundação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto DISASTER (PTDC/CS-GEO/103231/2008), Administração do Porto de Lisboa (APL) e Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) pela cedência das fontes históricas usadas. Projeto MOSAIC.pt (PTDC/CTA-AMB/28909/2017) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). A primeira autora beneficiou da uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/111166/2015).

REFERÊNCIAS

Bardin, L (2020). *Análise de conteúdo*. Edições 70, 279 pp.

Fortunato, A.B.; Oliveira, A.; Batista, A.M. (1999). On the effect of tidal flats on the hydrodynamics of the Tagus estuary. *Oceanologica Acta*, 22(1),31-44.

Fortunato, A.B.; Freire, P.; Bertin, X.; Rodrigues, M.; Ferreira, J.; Liberato, M.L. (2017). A numerical study of the February 15, 1941 storm in the Tagus estuary. *Continental Shelf Research* 144, 50 - 64.

Freire, P.; Tavares, A.; Sá L.; Oliveira, A.; Fortunato, A.; Santos, P.; Rilo, A.; Gomes, J.L.; Rogeiro J.; Pablo, R., and Pinto, P.L., (2016). A local scale approach to estuarine flood risk management. *Natural Hazards*, 84, 1705–1739.

Guerreiro, M.; Fortunato, A.B.; Freire P.; Rilo, A.; Taborda, R.; Freitas, M.C.; Andrade C.; Silva T.; Rodrigues M.; Bertin, X., and Azevedo A. (2015). Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* ,15 (1), 65–80.

Ibsen, M-L. e Brunsden, D. (1996). The nature use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. *Geomorphology* 15, 241–258.

INE, Instituto Nacional de Estatística (2020*). A Área metropolitana de Lisboa em números-2018*. Instituto Nacional de Estatística, 58p.

Jonkman, S.N., Maaskant, B., Boyd, E., Levitan, M.L (2009). Loss of life caused by the flooding of New Orleans after hurricane Katrina: analysis of the relationship between flood characteristics and mortality. *Risk Analysis,* 29 (5), 676–698.

Kolen B., Slomp R., Jonkman, S.N. (2013). The impacts of storm Xynthia February 27–28, 2010 in France: lessons for flood risk management, *Journal of Flood Risk Management*, 6, 261–278.

Krippendorff, K. (2004). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*, Sage Publications, 422p.

Muir-Wood, R. (2011). The 1941 February 15th Windstorm in the Iberian Peninsula. *Trébol*, 56, 4-13.

Rilo, A., P. Freire, R. Nogueira Mendes, R. Ceia, J. Catalão, R. Taborda, R. Melo, M.C. Caçador, M.C. Freitas, A. Fortunato, A. Alves, (2014). Methodological framework for the definition and demarcation of the highest astronomical tide line in estuaries: the case of Tagus Estuary (Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management.* 14 (1), 95–107.

Rilo, A.; Tavares, A.; Freire, P.; Santos, P.P., and Zêzere, J.L., (2017). The contributions of historical information to flood risk management in the Tagus estuary. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25, 22-35.

Santos, P.P. Tavares, A.O. Zêzere, J.L. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science and Policy*, 40, 85-100.

Zêzere, J.L.; Pereira, S.; Tavares, A.O.; Bateira, C.; Trigo, R, M.; Quaresma, I.; Santos, P.P.; Santos, M.; Verde, J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Natural Hazards,* 72 (2), 503–532.

Correntes, ondas e transporte de sedimentos na baía de Nacala, Moçambique

Portela, L. I. (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), lportela@lnec.pt.

Resumo: A baía de Nacala é um sistema costeiro semi-confinado que acolhe o principal porto do norte de Moçambique. As marés, as correntes, as ondas e o transporte de sedimentos no sistema foram estudados com recurso a modelos hidrodinâmicos e morfodinâmicos. Estima-se que as correntes de maré atinjam velocidades máximas de 0,5 m s^{-1} à entrada da baía e de 0,2 m s^{-1} no seu interior. A ondulação do largo quase não se propaga para o interior da baía, onde a agitação é essencialmente de geração local. Estima-se que o transporte de sedimentos arenosos seja significativo apenas para eventos extremos (ciclones tropicais) e circunscrito a uma faixa marginal (acima da batimétrica dos 10 m). Estes resultados parecem consistentes com a distribuição dos sedimentos superficiais da baía, areias e areias siltosas nas zonas pouco profundas e materiais mais finos nas zonas de maior profundidade.

Palavras-chave: hidrodinâmica, Moçambique, modelação, morfodinâmica, sistema costeiro.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas costeiros de Moçambique enfrentam pressões crescentes, sendo necessário assegurar a sua proteção e utilização sustentável (Charrua *et al*., 2020). Porém, estes sistemas têm sido objeto de um número geralmente reduzido de estudos, notando-se alguma escassez de dados de campo, mesmo no que se refere às condições hidrodinâmicas (Palalane *et al*., 2016). Afigura-se, por isso, importante contribuir para o seu conhecimento.

A baía de Nacala, localizada na região norte de Moçambique, na província de Nampula (14º30'S, 40º40'E), exemplifica algumas das transformações económicas e territoriais em curso. Oferecendo notáveis condições de abrigo, constitui um dos melhores portos naturais de águas profundas da África Oriental. Com obras inauguradas em 1951, o porto adquiriu nas décadas seguintes o estatuto de terceiro maior de Moçambique. Em 2013-2015, a atividade portuária sofreu um novo impulso com a construção de um terminal em Nacala-a-Velha, na margem W da baía, dedicado à exportação do carvão extraído na província de Tete. Este terminal apresenta uma cota de serviço da ordem de -20 m ZH (Portela, 2012). Presentemente, estão também a decorrer obras de ampliação e modernização do antigo porto, na margem E da baía.

O primeiro reconhecimento hidrográfico detalhado da baía de Nacala data de 1904. As cartas hidrográficas, como a de 1953, apresentam dados sobre a natureza do fundo. Encontram-se também disponíveis registos de marégrafo de 1975 e 1982 (http://uhslc.soest.hawaii.edu/home). Porém, embora tenham sido realizados estudos muito relevantes associados aos novos empreendimentos (Aurecon, 2010; JICA, 2011; Impacto, 2012), não se conhecem medições de correntes e ondas.

O presente trabalho pretende avaliar se a modelação numérica pode contribuir para um conhecimento mais completo de marés, correntes, ondas e transporte de sedimentos na baía de Nacala. Na ausência de observações que permitam a verificação da qualidade dos resultados, procura-se averiguar a consistência desses resultados com os de outros exercícios de modelação nos estudos mencionados.

2. ÁREA DE ESTUDO

A baía de Nacala situa-se num trecho costeiro dominado por formações coralíferas, muito recortado e com baías profundas (Figura 1). A baía encontra-se ligada ao canal de Moçambique pela baía de Fernão Veloso, onde se registam profundidades de 1000 m, reflexo de uma plataforma continental estreita. A profundidade média na baía de Nacala é de cerca de 20 m, verificando-se as profundidades mais elevadas, cerca de 70 m, na zona de entrada, a NE. Com cerca de 16 km por 5 km, a baía tem margens constituídas principalmente por praias e restingas arenosas e, nas zonas mais abrigadas, por rasos de maré e manchas de mangal.

A maré desempenha um papel preponderante no regime hidrodinâmico da baía, sendo as alturas referidas ao Zero Hidrográfico (ZH), em maré viva média, de +3,9 m em preia-mar e de +0,6 m em baixa-mar. O ZH está situado 2,25 m abaixo do nível médio do mar (IH, 2019). Os caudais fluviais parecem pouco significativos (Aurecon, 2010).

Os ventos predominantes, associados às monções, são de S, no semestre de abril-setembro, e de NE, em outubro-março, sendo o rumo S o mais frequente (Portela, 2012). Com base em medições no aeroporto de Nacala em 2016-2020, estima-se que a velocidade média anual, 10 m acima do solo, seja de 5 m s^{-1} (www.windfinder.com).

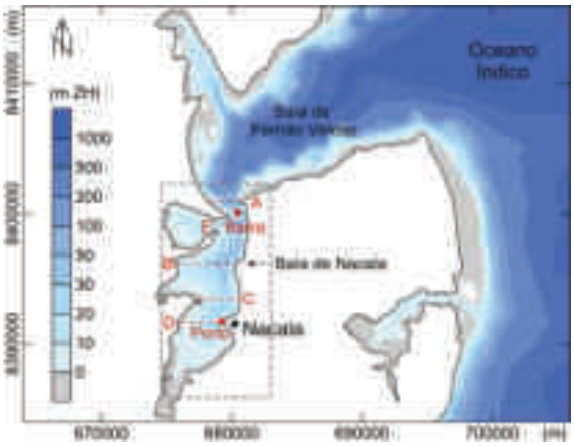


Fig. 1. Baía de Nacala, na região norte de Moçambique. Indica-se a localização das estações pontuais (Barra e Porto) e das secções de cálculo de caudais de maré (A, B, C, D e E).

A costa de Moçambique tem sido atingida em média por um ciclone ou tempestade tropical em cada 1-2 anos (16 eventos no período 1980-2008). A região norte registou 4 ciclones e tempestades tropicais entre 1994 e 2008 (INGC, 2009). É de salientar, pelos seus efeitos em Nacala, o ciclone Nadia, em 1994, embora, ao atingir terra, tenha descido para categoria 1 na escala de Saffir-Simpson, apresentando um valor máximo de velocidade do vento média, durante 1 minuto, de 39 m s^{-1} (INGC, 2009).

O sedimento da baía é dominado por areias e areias siltosas (valor típico de D_{50} de 0,15 mm) nas zonas de menor profundidade e por materiais silto-argilosos nas zonas mais profundas. A espessura da camada sedimentar (entre 0,5 e 20 m) aumenta das margens para as zonas de maior profundidade (Aurecon, 2010; Portela, 2012).

3. METODOLOGIA

Aplicou-se o sistema de modelos Delft3D (Deltares, 2014, 2015). O domínio abrange a baía de Nacala e a zona exterior adjacente. A malha de cálculo, com passo espacial de 100 m, tem batimetria baseada na carta náutica 0466 do Instituto Hidrográfico (última correção em 2006) e em levantamentos locais mais recentes, de 2010-2011. Na aplicação do modelo hidrodinâmico, adotou-se um período de simulação de 30 dias e um passo temporal de 9 s. Como condição de fronteira oceânica, considerou-se a elevação produzida por uma síntese de 23 constituintes de maré. Nos cálculos com vento, consideraram-se três cenários de vento (w) uniforme: 14 m s^{-1} de S (180º); 14 m s^{-1} de ESE (112,5º); e 32 m s^{-1} de NE (45º). Os cenários de vento adotados constituem uma primeira aproximação a condições de tempestade tropical e de ciclone. Procedeu-se à comparação entre valores de alturas de maré e de correntes em duas estações pontuais: Barra e Porto.

Na aplicação do modelo de ondas com os cenários de vento referidos, incluíram-se processos de geração, refração, difração, empolamento, *whitecapping*, atrito de fundo e rebentação pela profundidade. Como condição de fronteira oceânica, adotou-se uma altura significativa H_s = 2 m (3 m no caso de w = 32 m s^{-1}), um período de pico T_p = 8 s e uma direção θ_m = 45º.

Na simulação do transporte de sedimentos não-coesivos e da evolução morfológica do fundo por efeito da interação ondas-correntes, foi adotado um diâmetro mediano D_{50} = 0,150 mm, uma espessura da camada sedimentar z_s = 5 m e uma massa volúmica aparente seca ρ_d = 1600 kg m^{-3}.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de maré calculadas, do tipo semidiurno, com importante variação de amplitude no ciclo maré viva-maré morta (3,3 m em maré viva média e 1,0 m em maré morta média), são muito semelhantes nas duas estações em amplitude e em fase (apresenta-se apenas a da Barra; Figura 2a). As correntes de maré exibem uma variação espacial significativa, sendo as velocidades na Barra duas a três vezes mais elevadas do que na estação situada no interior da baía. Com efeito, na Barra foram calculados valores máximos e médios do módulo da velocidade de 0,34 m s^{-1} e 0,12 m s^{-1}, respetivamente (Figura 2b), enquanto que no Porto foram calculados valores máximos e médios de 0,14 m s^{-1} e 0,05 m s^{-1} (Figura 2c). Analisando todo o domínio, e não apenas as estações pontuais, observa-se um máximo local de 0,53 m s^{-1} à entrada da baía. Assim, as velocidades máximas obtidas são genericamente concordantes com as indicadas em Aurecon (2010) para o canal de entrada (0,4 m s^{-1}) e para o interior da baía (0,1 m s^{-1}).

O prisma de maré calculado à entrada da baía ascende a 0,21 x 10^9 m^3 para uma maré viva com amplitude de 3,7 m, reduzindo-se a 0,07 x 10^9 m^3 para uma maré morta com amplitude de 1,3 m (Figura 2d). Estes valores são muito próximos dos indicados em Impacto (2012). Calcula-se que o caudal de maré máximo instantâneo à entrada da baía, nas condições referidas, varie entre 15 x 10^3 m^3 s^{-1} em maré viva e 5 x 10^3 m^3 s^{-1} em maré morta.

Apresentam-se os resultados de campos de correntes, em situação de maré viva vazante, para uma situação sem vento (Figura 3a) e com vento de 14 m s^{-1} de S (Figura 3b). A ocorrência de situações de vento forte, excecionais, conduz a um aumento da velocidade das correntes, principalmente ao longo das áreas de menores profundidades. Para a situação de vento indicada na Figura 3b, calcula-se uma velocidade máxima de 0,62 m s^{-1} à entrada da baía, mas o efeito do vento no seu interior é proporcionalmente maior. Para um vento de 32 m s^{-1} de NE (45º), calcula-se uma velocidade máxima de 1,25 m s^{-1}, sendo a circulação no interior da baía muito alterada. Este efeito do vento, proporcionalmente maior no interior da baía do que no canal de entrada, parece coincidir com o indicado em Aurecon (2010) para um cenário de ciclone tropical.

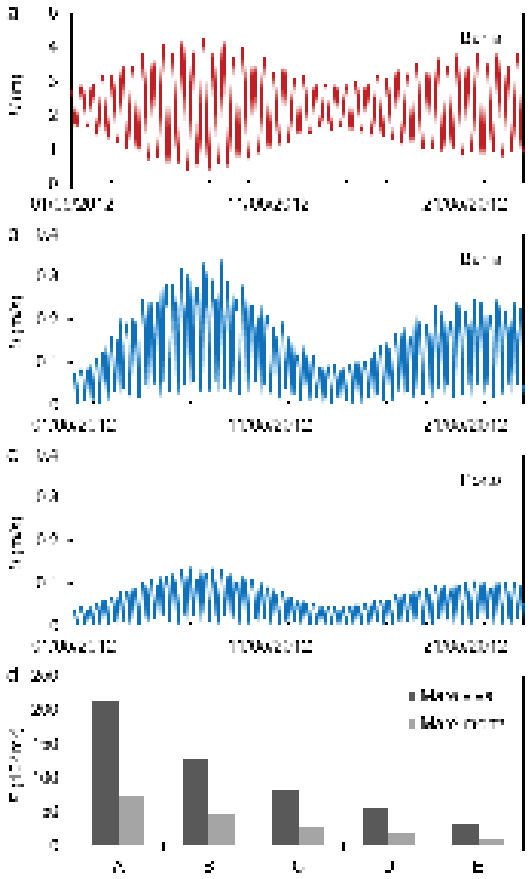


*Fig. 2. Valores calculados de **a** altura de maré (m) na Barra, **b, c** módulo da velocidade (m s^{-1}) na Barra e no Porto e **d** prisma de maré (10^6 m^3) em cinco secções da baía (apresentadas na Fig. 1) em maré viva e maré morta.*

Os resultados obtidos na simulação da agitação marítima (Figura 4) indicam que a agitação do largo praticamente não se propaga para o interior da baía. A agitação na área portuária é essencialmente de geração local, sendo condicionada pelo *fetch* associado ao rumo do vento. Estimou-se uma altura de onda significativa para um vento de 14 m s^{-1} do rumo ESE (112,5º) de cerca de 1 m na zona de entrada e um valor máximo de 0,7 m no interior da baía. Para condições extremas, correspondentes a um vento de 32 m s^{-1} do rumo NE (45º), estimou-se que a altura de onda possa atingir cerca de 2 m na zona de entrada e um valor máximo de 1,9 m no interior da baía. Estes resultados afiguram-se compatíveis com a estimativa de uma altura de onda de 2,35 m no interior da baía durante o ciclone Nadia, admitindo uma velocidade do vento superior, apresentada em JICA (2011).

Com base no cálculo do transporte de sedimentos arenosos e da evolução morfológica por correntes e ondas, estima-se que a dinâmica sedimentar apenas seja significativa para eventos de elevada energia (ciclones e tempestades tropicais). Com efeito, os padrões de acumulação e de erosão obtidos para um vento de 14 m s^{-1} do rumo S (180º) indicam evoluções de cota ao fim de 10 dias pouco substanciais e muito localizadas em pontas e restingas arenosas, onde se sabe que o D_{50} do sedimento tende a ser mais elevado (Aurecon, 2010). Os resultados obtidos com o cenário mais desfavorável, um vento de 32 m s^{-1} do rumo NE (45º), apresentados na Figura 5, mostram uma evolução morfológica acentuada, em particular na margem W e S da baía, mas limitada a uma faixa até uma profundidade de 5 m ou, de forma localizada, de 10 m. Prevê-se, assim, que os fundos situados a maior profundidade se mantenham estáveis mesmo para eventos de elevada energia, o que é muito favorável na perspetiva portuária.

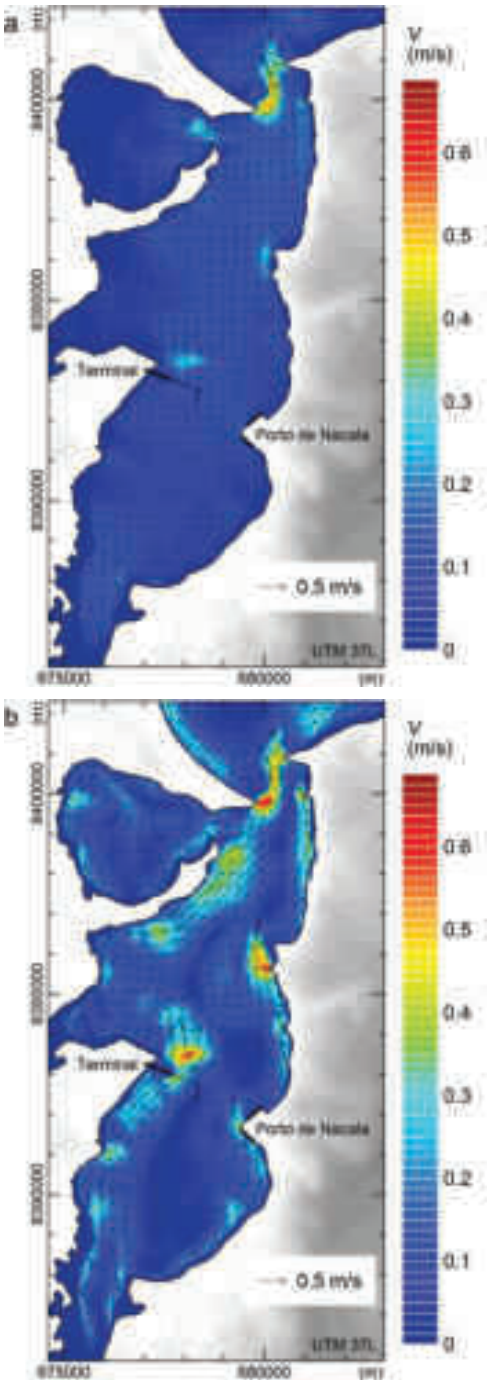


*Fig. 3. Campo de velocidades na baía de Nacala em vazante de águas vivas **a** sem vento e **b** com um vento de 14 m s^{-1} do rumo S.*

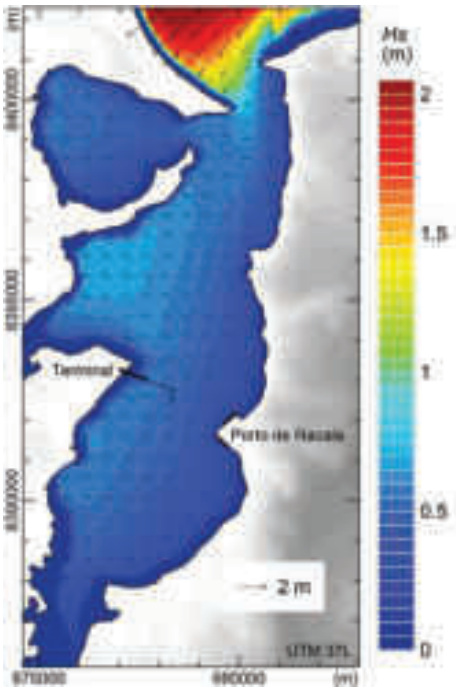


Fig. 4. Altura de onda significativa (m) para um vento de 14 m s^{-1} do rumo ESE (112,5º), considerando na fronteira oceânica altura significativa de 2 m, período de 8 s e direção de 45º.

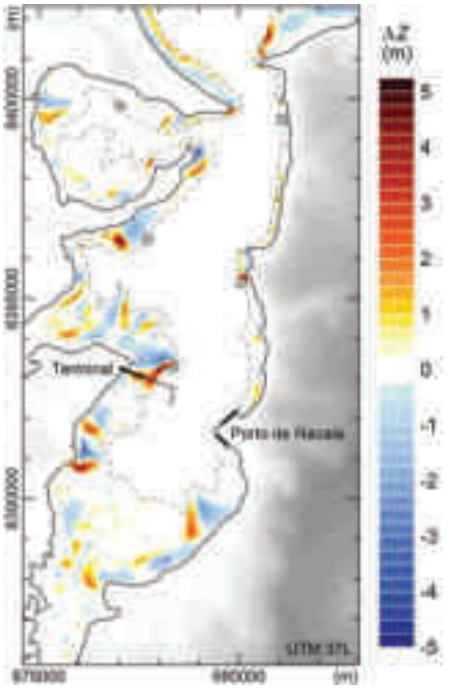


Fig. 5. Padrões de acumulação (+) e erosão (-) (m) de sedimentos arenosos (D_{50} = 0,150 mm), considerando interação de correntes e ondas, camada sedimentar de 5 m, vento de 32 m s^{-1} do rumo NE e um período de evolução morfológica de 10 dias.

5. CONCLUSÕES

Efetuou-se um estudo de modelação numérica sobre as principais características hidrodinâmicas e morfodinâmicas da baía da Nacala. Os resultados indicam que o sistema, relativamente profundo, apresenta correntes de maré pouco significativas, com velocidade máxima de 0,5 m s^{-1}. A agitação marítima exterior praticamente não penetra na baía, pelo que a agitação é de geração local e limitada pelo *fetch*. A cobertura sedimentar reflete as características hidrodinâmicas do sistema, com maior presença de areias na faixa entre-marés e sedimentos mais finos em profundidade. A dinâmica sedimentar aparenta ser muito limitada. Os episódios de maior dinamismo estarão associados à ocorrência de eventos extremos (ciclones e tempestades tropicais). Mesmo para estes episódios, as condições de abrigo oferecidas pela baía são excecionais. Os resultados obtidos indicam que a evolução morfológica estará circunscrita a uma faixa marginal, até a uma profundidade de 5 m ou, de forma localizada, 10 m, o que é muito favorável do ponto de vista da utilização portuária.

REFERÊNCIAS

Aurecon (2010). Projecto do Corredor de Nacala. EIA do Terminal Portuário e Ramal Ferroviário de Nacala-a-Velha. Volume II – Caracterização da situação de referência, 493 pp.

Charrua, A.B., Bandeira, S.O., Catarino, S., Cabral, P., Romeiras, M.M. (2020). Assessment of the vulnerability of coastal mangrove ecosystems in Mozambique. *Ocean and Coastal Management* 189, 105145.

Deltares (2014). Delft3D-FLOW. Simulation of multidimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15.34158. Deltares, Delft.

Deltares (2015). Delft3D-WAVE. Simulation of short-crested waves with SWAN. User Manual. Version 3.05.34160. Deltares, Delft.

IH (2019). *Tabelas de Maré 2020, volume 2*. Marinha, Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Impacto (2012). Reabilitação e expansão do porto de Nacala. Volume 2 – Relatório do EIA, 280 pp.

INGC (2009). Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. Instituto Nacional de Gestão de Calamidades, Moçambique.

JICA (2011). The Preparatory Survey on Nacala Port Development Project in the Republic of Mozambique. Japan International Cooperation Agency, 262 pp.

Palalane, J., Larson, M., Hanson, H., Juízo, D. (2016). Coastal erosion in Mozambique: governing processes and remedial measures. *Journal of Coastal Research* 32, 700-718.

Portela, L.I. (2012) Modelagem de correntes, marés, ondas e transporte de sedimentos na Baía de Nacala. Relatório 252/2012-DHA/NEC, LNEC, Lisboa.

Os padrões de distribuição das partículas sedimentares ao largo do rio Tejo, deduzidos a partir de parâmetros sedimentológicos

Lapa, N. (1); Vinhas, A. (1); Rodrigues, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. nuno.lapa@hidrografico.pt.

Resumo: Os processos dinâmicos que caraterizam atualmente o ambiente marinho, explicam grande parte do padrão de distribuição dos depósitos sedimentares. No caso dos setores adjacentes a grande fonte de partículas terrestres, como é o caso dos estuários dos grandes sistemas fluviais, observa-se uma variação espacial gradual em termos da granulometria e da composição sedimentar. No entanto, na plataforma continental entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel, onde desagua um dos maiores rios ibéricos, observam-se depósitos sedimentares com caraterísticas contrastantes daquelas que seriam de esperar para a gama de profundidades onde se encontram, o que leva a considerar a influência de outros fatores e/ou a herança de ciclos sedimentares mais antigos.
Nesta comunicação são exploradas, a partir de amostras do programa SEPLAT algumas das caraterísticas da cobertura sedimentar, tendo em vista a caraterização dos principais processos de dinâmica sedimentar que afetam o ambiente marinho na zona adjacente ao rio Tejo.

Palavras-chave: plataforma continental, sedimentos superficiais, SEPLAT, Tejo.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A plataforma continental portuguesa, localizada entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel é caracterizada por ser relativamente estreita (20-34 km), e estender-se, em média, até cerca dos 150-180 m de profundidade. Abaixo destas profundidades, a vertente é recortada por dois canhões submarinos que se prolongam até à Planície Abissal Ibérica. O mais curto, o Canhão de Cascais, tem apenas 8 km de comprimento enquanto o Canhão de Lisboa estende-se por 18 km (Vanney & Mougenot, 1981). É neste sector que desagua o Rio Tejo, dando origem a um dos maiores deltas submarinos da margem Ibérica (Paiva *et al*., 1997).

No que diz respeito à cobertura sedimentar, cartografada na Folha SED5 do programa SEPLAT (IH, 2005), ela é predominantemente arenosa na plataforma interna até aos 50 m, passando para um extenso depósito lodoso que cobre praticamente toda a plataforma continental, até aos 130 m de profundidade. É neste depósito que se depositam as partículas finas de origem estuarina, transportadas principalmente em suspensão (Dias, 1987; Paiva *et al*., 1997; Jouanneau *et al*., 1998; IH, 2005). Contrastando com esta monotonia, já na plataforma externa e contornando toda a zona do bordo, a cobertura sedimentar apresenta uma elevada variabilidade, desde sedimentos lodosos a alguns depósitos pontuais arenosos.

Pretende-se com o presente trabalho descrever genericamente os depósitos sedimentares que cobrem a plataforma ao largo do Tejo, correlacionando os depósitos sedimentares com as unidades sismo-estratigráficas identificadas no estudo efetuado por Vinhas *et al*. (2020).

2. DADOS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram extraídos do programa SEPLAT ("*Cartografia Sedimentar da Plataforma Continental Portuguesa*"), executado no Instituto Hidrográfico. As amostras superficiais de sedimentos foram colhidas no decurso de várias campanhas de amostragem realizadas entre 1980 e 1995. Durante este período foram colhidas 524 amostras de sedimento, segundo uma malha regular, de aproximadamente 1 milha quadrada. Também foram utilizadas 33 amostras de sedimentos superficiais colhidas no âmbito de uma campanha realizada em 2014. As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia da Divisão de Geologia Marinha segundo as normas técnicas e protocolos em vigor, tendo sido determinados os parâmetros texturais (cascalho, areia, silte e argila) e, sempre que possível, os respetivos parâmetros estatísticos (moda, média, assimetria e desvio padrão).

Os resultados das análises processados neste trabalho foram extraídos da Base de Dados dos Sedimentos, tendo-se verificado que, a metodologia específica adotada em 1974 nem sempre permite a determinação dos parâmetros estatísticos.

A representação espacial e análise dos dados sedimentológicos foram realizadas nos *softwares* ArcGIS da ESRI, e Grapher.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da cobertura sedimentar

Os depósitos sedimentares da zona em estudo são constituídos, no geral, por areia muito grosseira (-1 a 0 ϕ) a silte muito fino (7 a 8 ϕ) (Figura 1 e Figura 2).

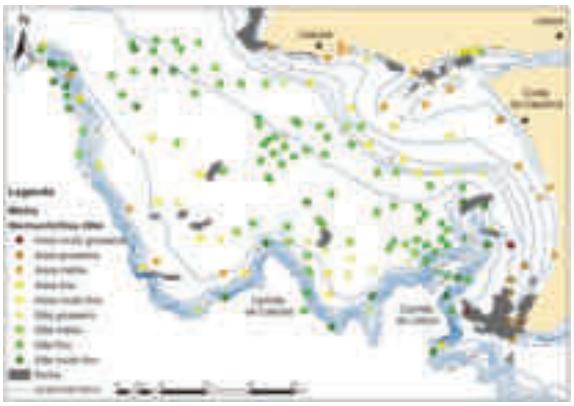


Fig. 1. Tamanho médio dos sedimentos de fundo, de acordo com a classificação compósita de Dias (2004).

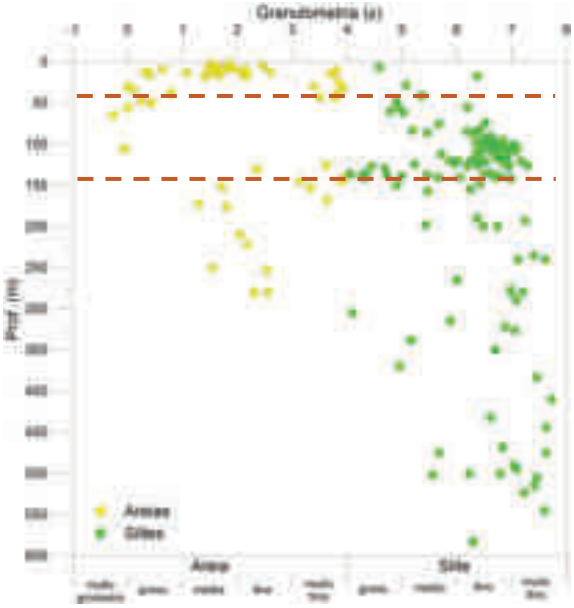


Fig. 2. Distribuição do tamanho médio do grão dos sedimentos superficiais ao longo da profundidade.

Espacialmente, parece haver um controlo batimétrico na distribuição do tamanho médio do grão, o qual diminui até cerca dos 150 m de profundidade. Em concreto, junto à costa os depósitos variam entre areia grosseira a areia muito fina e, entre os 50 m e os 150 m ocorrem os siltes grosseiros a muito finos. Abaixo dessas profundidades, junto ao bordo, observam-se, para além da contínua diminuição do tamanho do grão (siltes), alguns depósitos arenosos constituídos essencialmente por areias médias e finas.

No que diz respeito ao desvio padrão, ou seja, à calibração dos sedimentos, os resultados são muito variados: a grande maioria dos sedimentos são mal a muito mal calibrados, apesar de ocorrerem amostras muito bem calibradas a extremamente mal calibradas (Figura 3). A análise desta figura e da Figura 4 mostra que o desvio padrão varia em função da granulometria do sedimento e também da profundidade. Os sedimentos mais finos (areias finas a muito finas e os siltes) são, na sua maioria, mal a muito mal calibrados, enquanto que os sedimentos correspondentes a areias muito grosseiras a médias são, regra geral, predominantemente medianamente a bem calibradas. A profundidades superiores aos 200 m, a grande maioria dos sedimentos são muito mal calibrados.

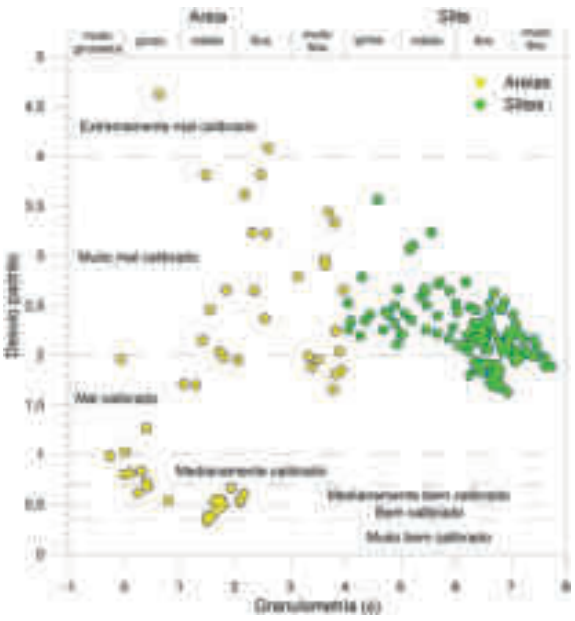


Fig. 3. Relação entre o diâmetro médio dos sedimentos e o respetivo desvio padrão.

A assimetria dos sedimentos é muito variável, sendo classificada como extremamente negativa a extremamente positiva (Figura 4).

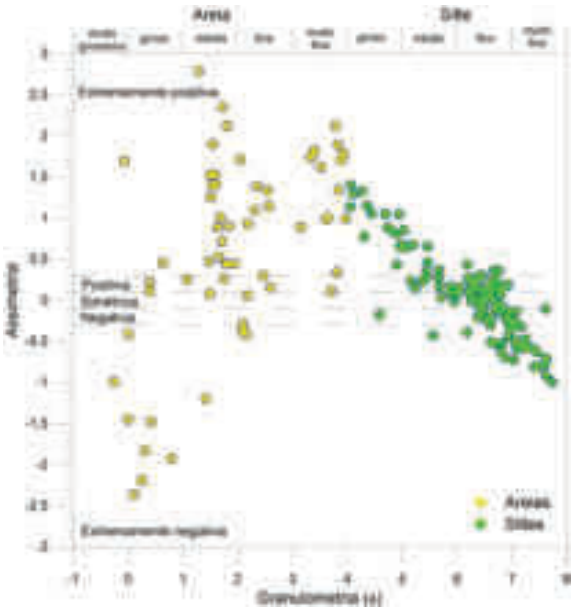


Fig. 4. Relação entre o diâmetro médio dos sedimentos e a respetiva assimetria.

Verifica-se que os sedimentos mais grosseiros tendem a ter assimetria extremamente positiva (enriquecimento em partículas finas) com a diminuição da sua granulometria, e que os sedimentos mais finos – siltes – tendem a ter assimetria extremamente negativa (enriquecimento em partículas grosseiras).

No sector mais a Sul, junto ao Canhão de Lisboa, a granulometria dos sedimentos tende a ser mais fina,

embora exista um pequeno depósito de areias finas a muito finas na área entre aquele canhão e o Canhão de Cascais (Figura 1).

Quanto à composição textural dos depósitos estudados, os sedimentos superficiais da área de estudo têm como classe predominante a areia, que apresenta um valor percentual médio de cerca de 58 %. As classes texturais silte e a argila têm valores médios próximos entre si (22 % e 17 % respetivamente). O cascalho, por sua vez, é a classe menos representada com aproximadamente 3,2 %.

Analisando a distribuição espacial das frações dos sedimentos, verifica-se que existem variações importantes em profundidade (Figura 5 e Figura 6).

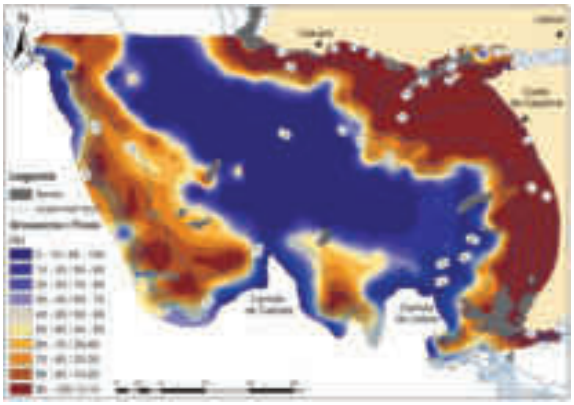


Fig. 5. Distribuição espacial dos grosseiros (frações cascalho + areia) em tons de castanho, e dos finos (frações silte + argila) em tons de azul.

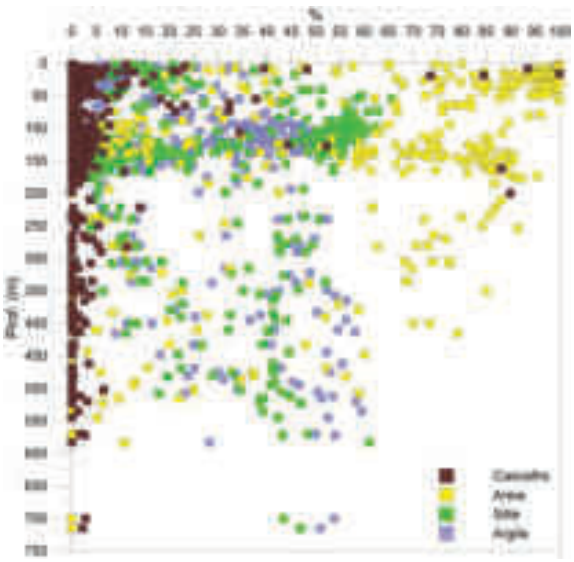


Fig. 6. Relação entre as classes texturais (cascalho, areia, silte e argila) dos sedimentos e a profundidade.

Na zona costeira até aproximadamente à batimétrica dos 50 m, os sedimentos são dominados pela fração grosseira (cascalho + areia) com um valor percentual de 92 %. Após esta profundidade e até aos 150 m, a composição textural dos sedimentos passa a ser maioritariamente fina com um valor médio de silte e de argila de cerca de 38 % e de 27 % respetivamente. No entanto, a fração arenosa também está presente nestes sedimentos representando em média cerca de 1/3 da sua composição (33%). Na plataforma externa, a fração grosseira volta a ter predominância sobre a fração fina dos depósitos (cascalho 5%; areia 61%; silte 18%; argila 16%). Junto ao bordo da plataforma, a cobertura de sedimentos passa a ter na sua composição textural uma maior percentagem da fração silto-argilosa (36 % de argila e 33% de silte), com a areia a apresentar um valor de 29,6 % e o cascalho 1,4 %.

No geral, observa-se uma faixa de sedimentos mais finos, de direção aproximada NW-SE entre as batimétricas dos 50 e dos 150 m cujo tamanho do grão varia entre 4 e 8 ϕ (i.e., silte grosseiro e silte fino) e composta maioritariamente pela componente silto-argilosa (Figura 1 e Figura 5). Esta faixa corresponde ao depósito lodoso já descrito anteriormente (Dias, 1987; Paiva *et al*., 1997; Jouanneau *et al*., 1998; IH, 2005; Balsinha *et al*., 2012), ladeado por sedimentos de caraterísticas arenosas, sendo que, próximo do talude continental, as partículas tendem a ser mais finas.

3.2. Análise da estrutura dos sedimentos

Para análise da estrutura dos depósitos superficiais de sedimentos descritos no ponto anterior, foi realizada uma correlação com as unidades sísmicas identificadas no estudo efetuado por Vinhas *et al*. (2020), embora a área coberta pelos levantamentos geofísicos não abranja os depósitos grosseiros observados no presente trabalho (tanto os próximos do bordo, como os mais costeiros).

Segundo a interpretação sismo-estratigráfica dos referidos autores, neste setor da plataforma continental foi possível identificar três unidades sísmicas distintas (S1U1, S1U2 e S1U3) que constituem a camada sedimentar depositada no último ciclo sedimentar (após o Último Máximo Glaciar, há 18 000 anos; Dias, 1987). As amostras sedimentares de granulometria mais fina descritas nos pontos anteriores, são representativas na unidade sísmica mais superficial, designada por S1U3. Esta unidade foi observada em toda a área e no geral apresenta as seguintes caraterísticas acústicas: amplitude média a baixa com boa continuidade em toda a área observada; reflexões internas dispostas sub-paralelamente entre si; e uma espessura que pode chegar às dezenas de metros (Figura 7). A geometria desta unidade, particularmente com as suas reflexões internas quase horizontais, parece indicar que é composta por partículas depositadas num ambiente de baixa energia (sedimentos finos, sem intercalações grosseiras). Estas caraterísticas são condizentes com o tipo de sedimentos observados, o que permite fazer a correspondência ao depósito lodoso existente neste setor. Estas partículas chegam em suspensão, fornecidas maioritariamente pelo Rio Tejo (Dias, 1987; Paiva *et al*., 1997; Jouanneau *et al*., 1998; Jesus, 2011), transportadas através de camadas nefeloides, afetadas por diversos tipos de correntes e processos (Paiva *et al*. 1997). Dada a configuração da

costa, protegendo a zona relativamente ao efeito da ondulação proveniente de NW (Jouanneau *et al*., 1998), os processos sedimentares são dominados pela influência do fornecimento estuarino, dando-se a deposição das partículas silto-argilosas, logo que a energia do meio permite a sedimentação. Em face das observações realizadas, propõe-se que os depósitos mais grosseiros da plataforma externa, localizados a profundidades superiores a 150 m, possam corresponder ao afloramento da unidade sísmica mais antiga, S1U1, cuja fáceis acústica parece compatível com o tipo de sedimentos em questão: reflexões internas com baixa a média amplitude, de disposição sub-paralela e sub-horizontal com fácies difusa a caótica, mas pouco espessa (Vinhas *et al*., 2020).

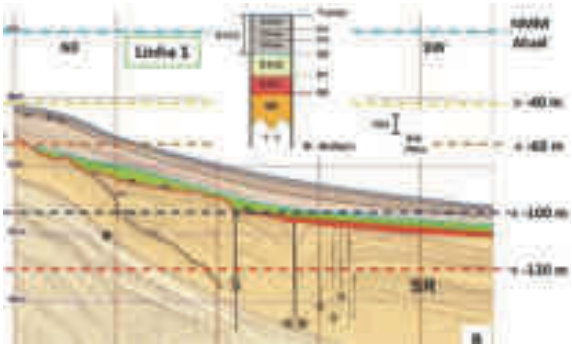


Fig. 7. Extrato do perfil sísmico com a representação da unidade superficial S1U3 (adaptado, Vinhas et al., 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados de sedimentologia permitiu verificar que a cobertura da plataforma na área de estudo, em frente ao estuário do Tejo é composta texturalmente, na sua maioria, pelas classes das areias e dos siltes (o tamanho médio do grão dos sedimentos varia entre areia muito grosseira e silte muito fino), com assimetria e desvio padrão muito variáveis.

A distribuição dos depósitos obedece a um controlo batimétrico, e também oceanográfico. Junto à costa e até aproximadamente os 50 m de profundidade, onde o regime de ondulação promove a ressuspensão e o transporte das partículas mais finas, surgem os sedimentos grosseiros, compostos na sua maioria pela fração areia, medianamente a bem calibradas e com assimetria entre negativa a positiva (simétrica).

Com o aumento da profundidade, na faixa entre os 50 e aproximadamente 150 m, depositam-se as partículas silto-argilosas provenientes do Tejo, maioritariamente transportadas em suspensão desde a desembocadura do estuário. São partículas que se depositam devido à diminuição do hidrodinamismo, e alimentam o depósito lodoso que cobre a grande extensão deste setor da plataforma.

Os dados de reflexão sísmica, adquiridos nesta zona, permitem verificar que a espessura deste depósito pode chegar até dezenas de metros. Abaixo dos 150 m de profundidade e até perto do bordo da plataforma encontram-se novamente sedimentos arenosos. Estes depósitos diferem dos depósitos costeiros, por serem muito mal a extremamente mal calibrados e apresentarem uma assimetria extremamente positiva (enriquecimento em partículas finas).

De acordo com a estrutura identificada, estes depósitos poderão corresponder a uma unidade sedimentar mais antiga, não coberta pelos sedimentos finos oriundos do estuário do Tejo. A escassez de partículas finas nesta área deve-se sobretudo aos processos de dinâmica da plataforma externa prevalecentes que impedem a sua deposição e que atualmente caracterizam este setor (Jouanneau *et al*., 1998).

Os depósitos finos que se encontram a maiores profundidades estarão em equilíbrio com os processos que caraterizam o talude continental, não sendo, à partida, diretamente alimentados pelo escoamento do rio Tejo.

REFERÊNCIAS

Balsinha, M. J.; Rodrigues, A.; Oliveira, A.; Fernandes, C.; Taborda, R. (2012). Sediment Trend Analysis for continental shelf between Cascais and Espichel Cape. 2as JEH. 219-222.

Dias, J. M. A. (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Tese de doutoramento, Univ. Lisboa, 384pp. (não publicado).

Dias, J. M. A. (2004). *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica).* Ebook: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html.

Instituto Hidrográfico (2005). *Sedimentos superficiais da plataforma continental.* Folha SED5 (Cabo da Roca ao Cabo de Sines), 2ª Ed.

Jesus, C. C. D. (2011). *Vias de transporte de sedimentos finos recentes na margem continental central Portuguesa*. Tese doutoramento, Univ. Aveiro, 306pp. (não publicado).

Jouanneau, J. M.; Garcia, C.; Oliveira, A.; Rodrigues A.; Dias, J. M. A.; Weber, O. (1998). Dispersal and deposition of suspended sediment on the shelf off the Tagus and Sado estuaries, SW Portugal. *Progress in Oceanography* 42:233-257.

Paiva, P.; Jouanneau, J. M.; Araujo, F., Weber; O.; Rodrigues A.; Dias, J. M. A. (1997). Elemental distribution in a sedimentary deposit on the shelf off the Tagus estuary (Portugal). *Water Air and Soil Pollution*, 99:507–514p.

Vanney, J. R.; Mougenot, D., (1981*). La plateforme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse Geomorphologique*. Mem. Serv. Geol. Portugal. 28, 86 p.

Vinhas, A.; Rodrigues, A. (2020). *Evolução morfo-sedimentar da plataforma adjacente ao sistema fluvial do Tejo desde o Último Máximo Glaciário*. 6as JEH. Lisboa.

Registo geológico onshore e offshore de tsunamis - Projeto OnOff

Duarte, J. F. (1); Costa, P. (2); Pombo, J. (1); Lapa, N. (1); Bosnic, I. (3); Silas, C. (1); Bizarro, A. (1); Equipa do Cruzeiro M152

(1) Instituto Hidrográfico, Marinha, Portugal. joao.duarte@hidrografico.pt.

(2) Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Univ. de Coimbra, Portugal.

(3) Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal.

Resumo: O objetivo principal do projeto OnOff é a reconstrução de eventos extremos que afetaram a costa portuguesa durante o Holocénico, baseando-se na análise de evidências geológicas em terra e na plataforma continental, identificando e recriando episódios de transporte catastrófico de origem tsunamigénica, potencialmente críticos para a gestão costeira.
A análise de amostras verticais de sedimento, de dados de sub-bottom profiler (SBP) e sondador multifeixe obtidos no cruzeiro M152 a bordo do navio oceanográfico RV Meteor, em novembro de 2018, na plataforma do barlavento algarvio, mostrou um registo sedimentar vestigial do tsunami de 1755, e a presença de um horizonte sedimentar de alta energia com uma idade próxima de 3700 anos BP, até à profundidade de 60 m, confirmado em levantamento recente na UAM Fisália.

Palavras-chave: 1755, backwash, M-152, OnOff, tsunami.

1. INTRODUÇÃO

Desde os finais dos anos 80 que trabalhos com foco no reconhecimento e identificação de vestígios sedimentares de tsunamis têm aumentado exponencialmente, trazendo novos dados para uma melhor compreensão destes fenómenos, dos seus impactos nos ambientes costeiros e, particularmente, das suas caraterísticas hidro e morfodinâmicas. Inicialmente, os depósitos de tsunami eram apenas identificados no registo estratigráfico costeiro através da sua singularidade e da extensão da sua presença para o interior (hinterland). Mais tarde, especialmente após os eventos de tsunami de 2004 e 2011, o reconhecimento de depósitos de tsunami evoluiu, passando a permitir uma interpretação robusta da dinâmica sedimentar e a identificação de fases de inundação com base na aplicação de diferentes técnicas analíticas sedimentológicas, geoquímicas, paleontológicas e geofísicas.

Os depósitos de tsunami em Portugal foram originalmente (início dos anos 90) identificados devido à sua assinatura geomorfológica ou à sua natureza mais grosseira (arenosa) que os sedimentos lodosos enquadrantes nalgumas baixas aluvionares existentes em setores costeiros ao longo da costa do Algarve (Costa, 2020). Muitos desses depósitos foram primeiramente estudados em detalhe no que concerne a distribuição espacial, textura e composição micropaleontológica. Um aspeto primordial descrito comummente nessas sequências holocénicas foi a peculiaridade e singularidade do depósito associado ao evento tsunamigénico de 1755 CE.

O projeto OnOff traz uma perspetiva complementar ao estudo do registo de tsunamis na costa sul portuguesa, pois procura adicionar o conhecimento detalhado da fase de retorno (backwash) através do estudo na plataforma continental (Feist *et al*, 2019). Para além disso, e comparando com o registo onshore, o registo offshore em zonas de relativa pouca profundidade (50 a 500 m) oferece condições que permitem uma preservação pristina de eventos passados, o que também se traduz na possibilidade de contribuir para uma melhor definição de períodos de retorno de eventos tsunamigénicos que tenham afetado a costa portuguesa. Este trabalho tem sido realizado com uma abordagem multidisciplinar inovadora, beneficiando de uma vasta equipa internacional, que favorece uma análise com múltiplas perspetivas e, por isso mesmo, mais completa do registo tsunamigénico em Portugal.

2. RESULTADOS PRELIMINARES

A plataforma continental do Algarve tem vindo a ser estudada através de campanhas em navios oceanográficos devidamente equipados para a realização de aquisição de dados geofísicos que permitem mapear bacias de deposição mais favoráveis à preservação dos depósitos de tsunami. Assim, por forma a complementar os trabalhos onshore, foram realizadas duas campanhas de mar, uma a bordo do navio alemão RV METEOR cruzeiro M152, em novembro de 2018, e outra realizada em Janeiro de 2020 na embarcação UAM Fisália.

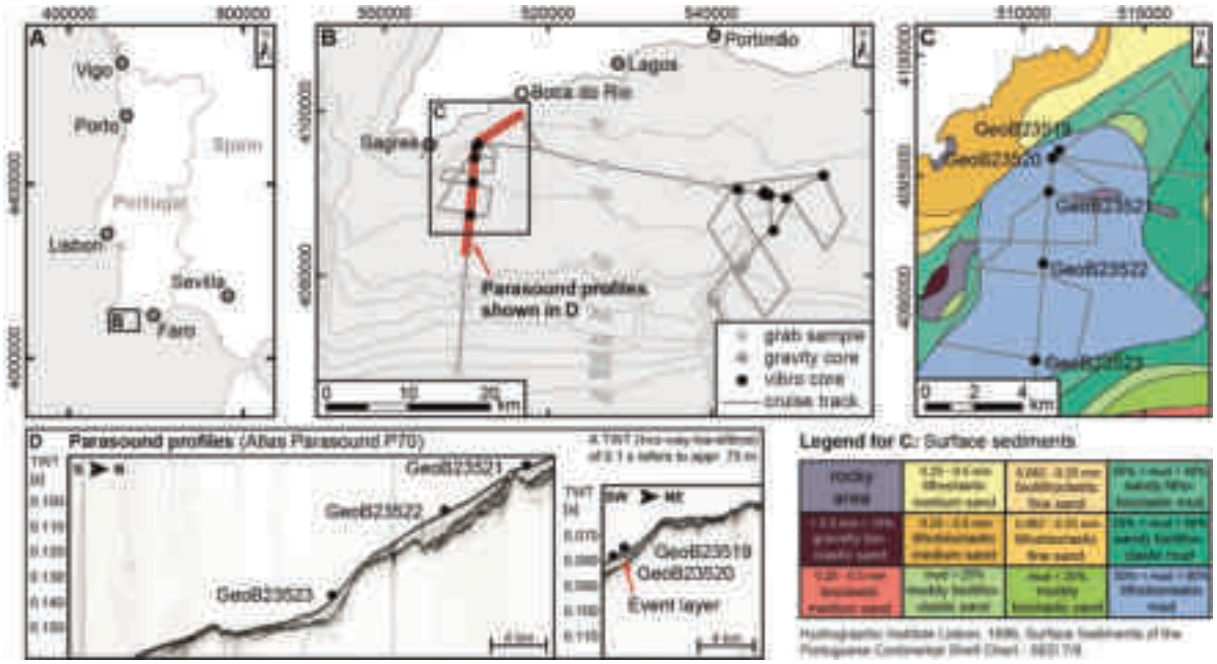


Fig. 1. A-B – Localização dos perfis sísmicos e amostras verticais obtidas na campanha do RV Meteor, M152, Novembro 2018. C - Cartografia de Sedimentos Folhas SED 7e 8, 1/150000 IH (1986). D - Perfis sísmicos localizados em B. Adaptado de Feist,et al, 2020, in press.

A missão RV METEOR M152 produziu numa primeira fase um levantamento geofísico na área da plataforma continental algarvia, essencialmente entre profundidades entre os 65 e os 500 m, para determinar com maior detalhe a batimetria e obter perfis acústicos de alta resolução (sub-bottom profiles) para o reconhecimento de bacias deposicionais. Posteriormente, 19 amostras verticais foram obtidas em pontos pré-determinados com base na informação geofísica adquirida (Figura 1). Os resultados mais completos foram retirados entre os 65 e os 114 m de profundidade, através de vibracoring.

A análise das amostras verticais através de múltiplas técnicas sedimentológicas (granulometria, susceptibilidade magnética, velocidades da onda P, geoquímica orgânica e inorgânica, micropaleontologia) evidenciaram a existência de um nível sedimentar arenoso com aproximadamente 30 cm de espessura máxima, de expressão notável nos perfis acústicos (Figura 1D). Mais de duas dezenas de datações por radiocarbono permitiram estabelecer com rigor e alta resolução o modelo de idades para as amostras recolhidas. Assim, para além do depósito associado ao tsunami do ano de 1755, foram ainda identificados outros eventos que partilham muitas das

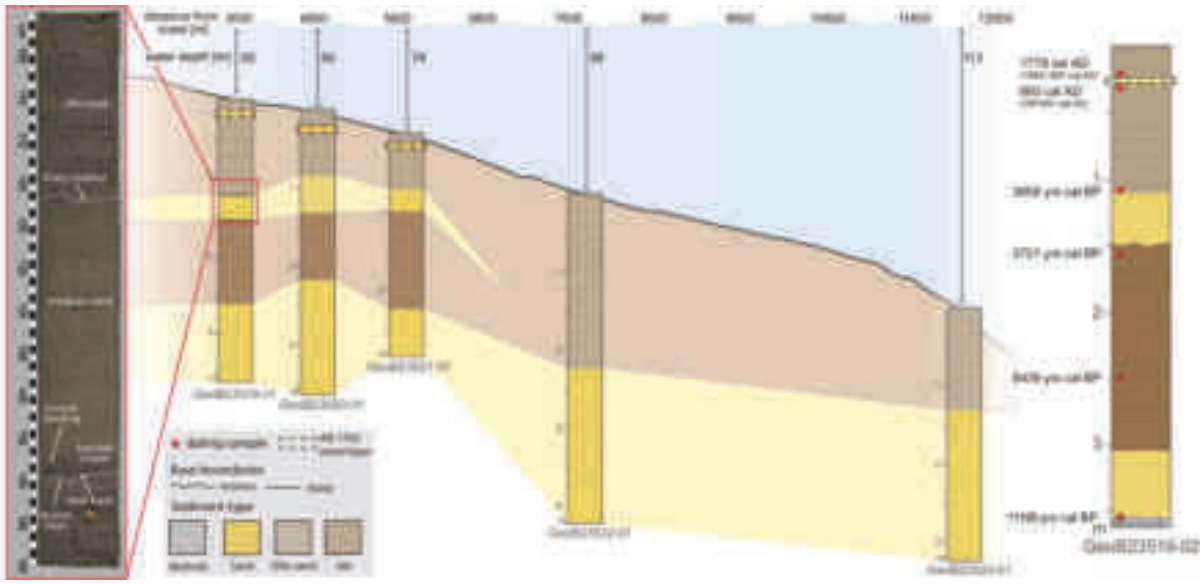


Fig. 2. Amostras verticais recolhidas no perfil N-S (assinalado a vermelho na Fig. 1). Adaptado de Feist, et al,2020.

caraterísticas regularmente associadas a depósitos de tsunami, com especial destaque para o nível sedimentar arenoso acima referido. No perfil onde se representa a litologia de cinco amostras verticais (Figura 2) é visível uma elevada discriminação dos níveis sedimentares abaixo da superfície do fundo oceânico, sendo que entre 1,2-1,5 m se localizam os limites superiores e inferiores deste nível com assinatura acústica distinta, registando uma idade aproximada de 3700 anos calibrados BP na sua base (Figura 3).

Esta unidade é separada da subjacente por um contacto erosivo, sendo composta por uma areia siliciclástica média e bem calibrada. A sua espessura diminui para o largo ao longo do perfil oeste, tendo sido posteriormente correlacionado com uma unidade também identificada, de forma menos óbvia, no perfil oeste. Para além dos trabalhos realizados a bordo do navio RV METEOR, a campanha de aquisição de dados geofísicos, realizados em janeiro de 2020 a bordo da UAM Fisália, permitiram seguir e detalhar a distribuição espacial deste episódio até às profundidades na ordem dos 30 m, evidenciando a sua forte expressão espacial e estratigráfica. O depósito é distinguível da sedimentação de plataforma média, dominada por silte e areia siltosa não apenas devido às caraterísticas texturais e composicionais, mas também devido às propriedades geofísicas e químicas contrastantes. A proveniência terrestre (pelo menos de parte) do sedimento é revelada através de, por exemplo, da análise de biomarcadores (Figura 3).

Com base nas estruturas sedimentares que o depósito apresenta, este pode ser interpretado como o resultado de um fluxo híper-pícnico proveniente da costa em direção ao mar, como resultado da fase de retorno de um tsunami. Este evento pode ser correlacionado com observações onshore de depósitos de tsunami ao longo da costa sudoeste da Espanha (Koster & Reichester, 2014), mas nunca foi identificado anteriormente em Portugal, onde o registo onshore de depósitos de tsunami apenas apresenta resultados fiáveis para os últimos três milénios.

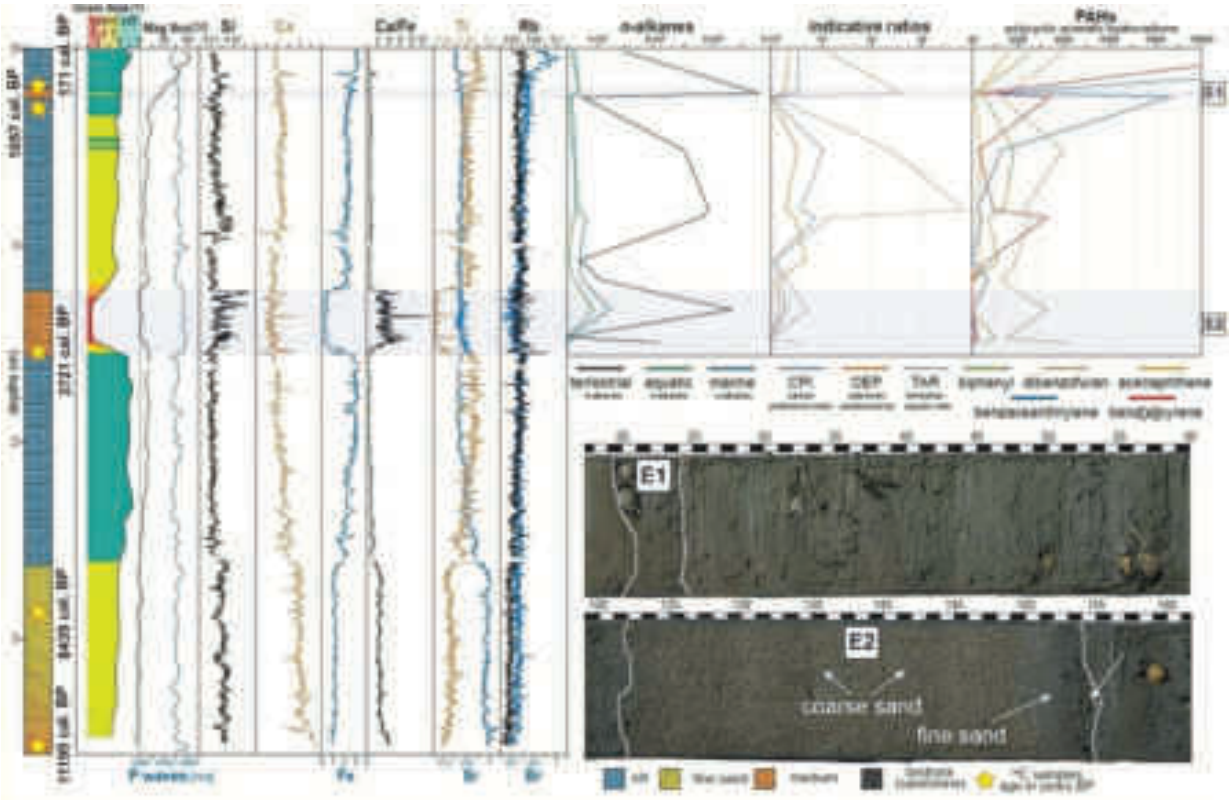


Fig. 3. Dados granulométricos e geoquímicos da amostra vertical da estação GeoB235 19-02. Adaptado de Feist, et al, 2020. O excesso de n-alcanos de origem terrestre coincide com os episódios de sedimentação grosseira siliciclástica.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem multidisciplinar utilizando critérios sedimentológicos, micropaleontológicos, inorgânicos e orgânico-geoquímicos, permitiu (1) identificar depósitos de tsunami associados à fase de retorno ou backwash em domínio de plataforma; (2) estabelecer um novo intervalo de recorrência para eventos tsunamigénicos que afetam a costa sul portuguesa; e (3) contribuir para uma melhor definição de risco das áreas costeiras estudadas. Desta forma, os objetivos iniciais do projeto foram plenamente atingidos e cumpridos.

Os resultados do projeto OnOff identificaram, pela primeira vez na costa portuguesa, um evento tsunamigénico com cerca de 3700 anos calibrados BP. Os resultados do projeto também permitiram verificar que as bacias deposicionais na plataforma do

Algarve têm o potencial para manter de forma íntegra os depósitos da fase de retorno de tsunamis Holocénicos, oferecendo condições propícias à preservação desses depósitos de tsunami.
Informações de detalhe sobre o projeto OnOff podem ser visualizadas na página web http://onoff.rd.ciencias.ulisboa.pt/, a qual inclui o acesso à respetiva base de dados.

Agradecimentos
Os autores agradecem a equipa técnica e de investigação do RV METEOR – 152 e da UAM Fisália. O trabalho contou com o apoio do Projeto OnOff 199- PTDC / CTAGEO / 28941/2017 - financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) e apoio financeiro da DFG (German Research Foundation).

REFERÊNCIAS

Costa, P.J., Andrade, C. (2020). Tsunami deposits: Present knowledge and future challenges, *Sedimentology*, 67.

Feist, L., Frank, S., Bellanova, P., Laermanns, H., Cämmerer, C., Margret, M.-S., Biermanns, P., Brill, D., Costa, J.M., Teichner, F., Brückner H., Schwarzbauer, J., Reicherter, K. (2019). The sedimentological and environmental footprint of extreme wave events in Boca do Rio, Algarve coast, Portugal. *Sedimentary Geology*, 389: 147-160.

Feist, L., Costa, J.M., Bellanova, P., Bosnic, I., Santisteban, J.I., Schwarzbauer, J., Vöttm A., Brücknerm H., Duarte, J.F., Kuhlmannc, J., Reicherter, K., and the M152 shipboard scientific party (2020). Offshore tsunami archive – Tsunami backwash deposits of the Algarve shelf. *Nature Scientific Reports*, *accepted manuscript.*

Koster, B., Reicherter, K. (2014). Sedimentological and geophysical properties of a ca. 4000 year old tsunami deposit in southern Spain. *Sedimentary Geology*, 314, 1-16.

Salt marsh response to changing hydrodynamics: the case of Ancão inlet migration (Ria Formosa coastal lagoon)

Amado, M. (1); Kombiadou, K. (1); Carrasco, A. R. (1)

(1) CIMA – Centre for Marine and Environmental Research, FCT, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. a45153@ualg.pt.

Abstract: Given the high economic and ecological value of salt marshes, it is important to improve our knowledge on the physical processes and main sedimentary sources controlling their evolution. This study analyses the morphological feedbacks of a salt marsh to varying hydrodynamics due to inlet migration. The studied salt marsh patch is located near the Ancão Inlet, in the Ria Formosa barrier system. A 67-year dataset of aerial photographs was used to assess salt marsh sedimentary evolution. The results focused on the analysis of horizontal displacements of the salt marsh and tidal flat morphologies over time. Inlet migration stages and the related distance to the inlet throat were identified as a critical factor for the progression/recession of the morphologies. As the salt marsh generally grew, the tidal flat receded, and more intensely after inlet relocation. Results showed an interlinked evolution of tidal flat and marsh, with the former providing a sedimentary boost to the development of the later.

Key words: inlet migration, marsh evolution, ria Formosa, sedimentary sources.

1. INTRODUCTION

Tidal marshes are among the most productive ecosystems, providing key services, such as shoreline protection, water quality improvement, provision of fish habitat (Gedan *et al.*, 2009), and carbon sequestration (McLeod *et al.*, 2011). Marshes have persisted for thousands of years, despite being naturally dynamic, expanding and contracting in extent and in response to changes in river flow and tidal dynamics (Redfield, 1972). Their spatial-temporal variability results from the influence of abiotic (e.g. soil capping, type of groundcover, salinity, flood depth) and biotic (e.g. canopy cover, plant age and type, grazing) factors (Bhattacharjee *et al.*, 2009; Morris *et al.*, 2002); in some cases, these alterations are induced by human activities (Day *et al.*, 2008). Regarding the economic and ecological importance of salt marshes, it is extremely important to improve our knowledge on the physical processes that control marsh evolution, as well as the limits and degree of interaction with surrounding sedimentary sources. Two specific goals are addressed in this study: (a) to determine the influence of the Ancão Inlet natural migration stages and human relocation to the surrounding salt marsh development over the last 67 years; and (b) to determine how the diverse sand contributors (e.g., tidal flat and flood delta), present in the lagoon system, interact and influence the salt marsh development.

2. METHODS

2.1. Study Area

Ria Formosa coastal lagoon, located in the Algarve region, in the southern coast of Portugal, is protected by a multi-inlet barrier chain, presently composed of five islands and two peninsulas separated by six tidal inlets. Due to its triangular shape, Ria Formosa develops along two different flanks in terms of wave exposure (Costa *et al*, 2001). The western flank, where the study area (Ancão Peninsula and Barreta Island) is located, is more energetic, being under the direct influence of the dominant wave conditions (Vila-Concejo *et al.*, 2004).

The studied salt marsh area is located north from the Ancão Peninsula and the Ancão Inlet (Fig. 1). This inlet presents a progressive easterly migration cycle, as result of the dominant alongshore sediment transport from west to east (Pilkey *et al.*, 1989), and an ebb-dominated behavior (Salles, 2001; Vila-Concejo *et al.*, 2004). Each migration cycle starts with a new inlet opening in a western position and migrating eastwards with a mean rate of about 67 m/yr (Dias *et al.*, 2009).

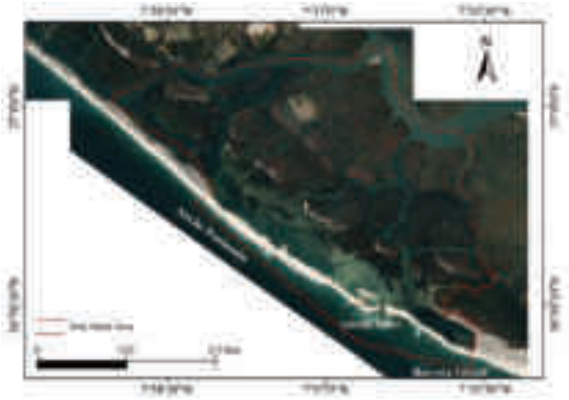


Fig. 1. Aerial view (2014) of the study area, where the red polygon delimits the Salt Marsh patches relevant to the study.

2.2. Morphological analysis

This work is based on the analysis of aerial images, used to determine the horizontal spatial evolution of the salt marsh and morphologies around it, that may, or may not, have influenced its evolution. The

analysis focuses on an average long-term approach (years to decades) of the changes that occurred over 67 years (1947-2014). The available data include aerial photographs and orthophotographs, with a total of 11 rasters available for this period. The entire process, from scanning and georeferencing to mapping and analysis is described in Amado (2019).
Seven different morphologies (vegetated and non-vegetated), present in the study area, were mapped as: Salt Marsh (SM), Marsh Detached Beach (MDB), Fish Farming (FF), Tidal Flat (TF), Sand Banks (SB), Flood Delta (FD), and Barrier (Fig. 2). The remaining area (fixed in time), after subtracting all previous morphologies, was characterized as Secondary Channels and Others (SCO; Fig. 2). Computed areas were used to calculate correlations between morphologies and horizontal displacements between consecutive mappings. The results presented are mostly focused on the SM and TF dynamics.

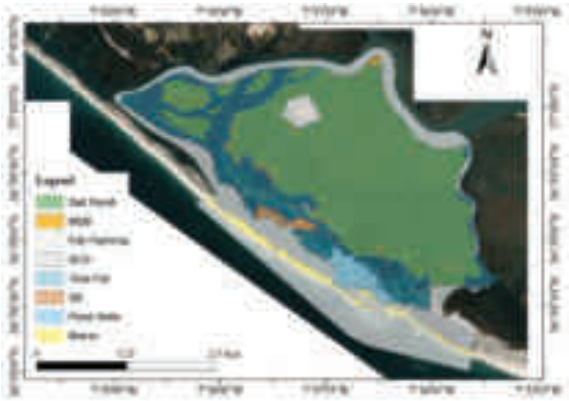


Fig. 2. Representation of the different morphologies present in the study area: SM, MDB, FF, SCO, TF, SB, FD, and Barrier.

Landcover transitions occurring between 1947 and 2014 were validated by using the Markov chain analysis method, presented in Gonzalez *et al.* (2005). Shoreline rate-of-change statistics for the SM and TF boundaries were calculated from multiple shoreline positions during the study period, using the DSAS tool (Thieler *et al.*, 2009). This technique was also used to calculate short-term rates of SM and TF changes near the Ancão Inlet, that were associated with the inlet migration phases. This data was also compared with inlet tidal prisms obtained by Popesso *et al.* (2016), to identify the existence (or absence) of correlation between them.

3. RESULTS AND DISCUSSION

With exception of SM and TF, the morphologies show a loss in total area during the 67 years of analysis (**Error! Reference source not found.**). SM and TF exhibited an increase of 2.23×10^5 m^2 and 8.14×10^5 m^2, respectively (**Error! Reference source not found.**a). The overall marsh evolution (**Error! Reference source not found.**a) shows two different episodes of variation (Amado, 2019): (a) a decrease of 2 % between 1958 and 1989; and (b) an increase of 3 %, relative to its initial area, between 1996 and 2001. The most variable SM patch was located fronting the Ancão Inlet. Regarding the TF area (**Error! Reference source not found.**a), overall growth is noted over the years (1.4×10^4 m^2/yr: R^2 = 0.7). This increase in the TF can be strongly associated with the decrease in sedimentary deposits (FD and SB; **Error! Reference source not found.**b).

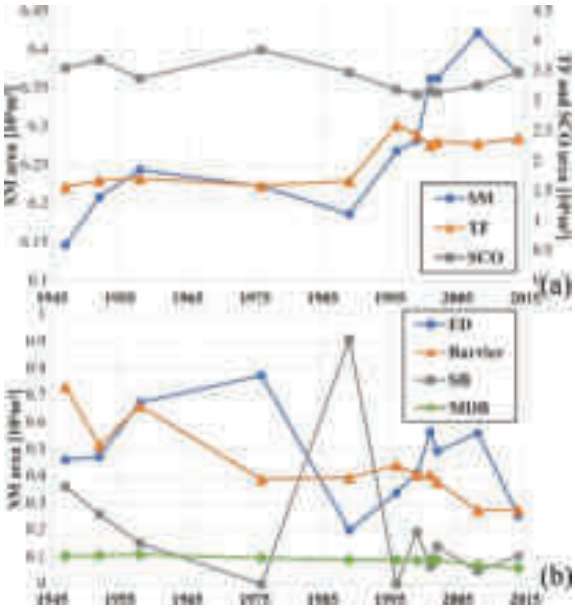


Fig. 3. Evolution of mapped morphologies (in 10^6 m^2) between 1947 and 2014: (a) SM (reference to left axis), TF and SCO (reference to right axis) and (b) FD, Barrier, SB and MDB.

A total of 532 land-cover changes were observed along the 10 time staps between 1947 and 2014; but only 175 are statistically important (Amado, 2019). From these 175 transitions, only 2 land-cover changes are found to be highly significant (p-value>0.05) throughout the analyzed period: TF to SM, SCO to Barrier. Between 1947 and 2014 the morphologies that keep most of their original area are SM and SCO, maintaining 94 % and 75 %, respectively (Table I). Transitions of other morphologies to SM do not seem very significant, as only 6 % of its final area has originated from other morphologies, with TF being the most significant (corresponding to 4 %). SM indirectly benefits by the conditions that lead to the TF development and needs the TF to develop, as stated by Cunha *et al.* (2005), Marbà *et al.* (1994) and Schanz and Asmus (2003). For the TF, the biggest transition occurred from SCO (23 %), FD (14 %) and SB (13 %; Table I).
Concerning horizontal change rates (Fig. 4), namely the progression/recession of the morphology boundary, the greater part of the SM boundary shows a general negative trend (erosion), although boundary progression was also present. The regions that showed higher progression are located along the South limit of the SM, with maximum values of approximately 4 m/yr (Amado, 2019). The TF boundary shows similar pattern, with higher recession rates along the northern and stronger boundary progression the southern one. However,

unlike the SM, the TF shows a much wider region and higher values of progression in its southern region (about 8 m/yr), which can be related to the existence of deltaic deposits (Amado, 2019).

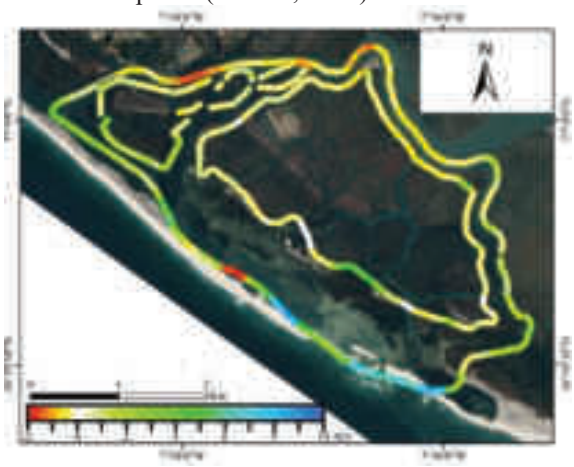


Fig. 4. Horizontal rates (in m/yr) for the SM (inner dots) and TF (outer dots) boundaries.

Table I. Percentages of morphology shifts between 1947 and 2014 (e.g. 63 % of SCO in 1947 transformed to FD in 2014). Values filled in grey represent the preserved area of each morphology, and dark green the transitions above 50 %.

Peak TF area is observed when the Ancão Inlet is in its easternmost position, in its phase of closure. This could be related to the presence of old sediment deposits and calmer hydrodynamic conditions, that can favor seagrass development, or it can be related to underestimation TF during mapping (SB could be overlying TF features). Decreases in the TF area can be connected to the formation of new sedimentary deposits over this morphology (due to the passage of the Ancão Inlet during its migration) or to the impacts of dredging, as proposed by Cunha *et al.* (2005). This work showed that the proximity of the inlet to the seagrass patches has a negative impact on their size, corroborating the obtained results and confirming the inlet's influence on this morphology. As shown before (Table I), changes in TF area are eventually translated to changes in the SM area.

Comparing the SM and TF areas variability with the data from Popesso *et al.* (2016), it was possible to associate periods of morphological change with intervals of inlet stability/instability; at the initial 2 phases of the inlet migration, when the inlet is under unstable (a; morphological adaptation) or equilibrium 1 (b; capturing prism and migrating) conditions, there is a positive impact on the SM area, but a negative impact on the TF. The opposite takes place during the final 2 stages of migration, when the inlet is in equilibrium 2 (c; migrating without capturing prism) or critical (d; toward closure/infilling) phase. Thus, the beginning of an inlet migration cycle (phases a and b Popesso *et al.* (2016)) will lead to TF erosion. Afterwards the TF will, likely, start accreting on the second half of the Ancão Inlet cycle (phases c and d Popesso *et al.* (2016)). The SM will have the opposite behavior. This, and the positive correlation of these morphologies, can indicate that there is a delay in SM development compared to the TF. After the inlet has started a new cycle, SM is expected to start gaining area, once the TF has had time to restore.

Based on the aforementioned and on the land-cover change results (Table I), it was possible to create a conceptual scheme (Fig. 5) with the significant land-cover interactions between morphologies for the study period (1947-2014). It is noteworthy the sequence of interactions FD → SB → TF → SM, reinforces the idea that the Ancão Inlet triggers SM development. The formation of FD by the Ancão Inlet starts a sequence of transitions that, in the long-term, will lead to SM development. Other interesting interactions are the highly significant connection of SM and TF with MDB. Despite the strong correlation between SM and TF, only the transition of TF to SM is a significant land-cover change, while the growth of the TF is mostly due to other morphologies (FD and SD).

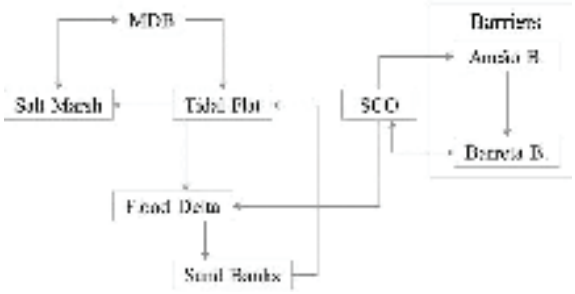


Fig. 5. Conceptual scheme, representing significant morphology land-cover changes for the entire study period (1947-2014).

4. CONCLUSIONS

The long-term analysis of SM dynamics in the west part of the Ria Formosa lagoon, showed that TF was the most relevant sediment contributor for SM development, providing 4 % of the SM total area, by 2014. The results showed that SM indirectly depends on the same drivers and forces that lead to TF development. Both morphologies are strongly influenced by the Ancão Inlet migration, with the observed progression/recession of the morphology boundaries highly related to the hydrodynamics of the inlet migration cycle. Further research, supported by field data, is needed to fully understand the complex relationships between these morphologies. However, the results presented provide a clear indication of the interconnections and dominant long-term dynamics.

Acknowledgments

This work acknowledges the EVREST Project (PTDC/MAR-EST/1031/2014) and the financial

support of FCT to CIMA (UID/0350/2020). K. Kombiadou was supported by FCT through the ENLACE project (PTDC/CTA-GFI/28949/2017) and A.R. Carrasco was supported by FCT under the DL 57/2016/CP1361/CT0002.

REFERENCES

Amado, M. (2019). *SALT MARSH RESPONSE TO CHANGING HYDRODYNAMICS: the case of Ancão Inlet migration (Ria Formosa coastal lagoon)*. Universidade do Algarve.

Bhattacharjee, J., Haukos, D. a., & Neaville, J. (2009). Influence of biotic and abiotic factors on annual aboveground biomass of an intermediate coastal marsh. *Wetlands*, *29*(2), 690–696. https://doi.org/10.1672/06-176.1.

Costa, M., Silva, R., & Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa Portuguesa. 2as Jornadas Portugusas de Engenharia Costeira e Portuaria, CD-ROM.

Cunha, A. H., Santos, R. P., Gaspar, A. P., & Bairros, M. F. (2005). Seagrass landscape-scale changes in response to disturbance created by the dynamics of barrier-islands: A case study from Ria Formosa (Southern Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *64*(4), 636–644. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.03.018.

Day, J. W., Christian, R. R., Boesch, D. M., Yáñez-Arancibia, A., Morris, J., Twilley, R. R., … Stevenson, C. (2008). Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts*, *31*(3), 477–491. https://doi.org/10.1007/s12237-008-9047-6.

Day, J. W., Martin, J. F., Cardoch, L., & Templet, P. H. (1997). System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, *25*(2), 115–153. https://doi.org/10.1080/08920759709362315.

Dias, J. M., Sousa, M. C., Bertin, X., Fortunato, A. B., & Oliveira, A. (2009). Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling & Software*, *24*(6), 711–725. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.10.017.

Gedan, K. B., Silliman, B. R., & Bertness, M. D. (2009). Centuries of Human-Driven Change in Salt Marsh Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, *1*(1), 117–141. https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163930.

Gonzalez, R., Alveirinho Dias, J. M., & Ferreira, Ó. (2005). Analysis of Land-Cover Shifts in Time and Their Significance. In *High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries* (pp. 57–82). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3296-X_4.

Marbà, N., Cebrián, J., Enríquez, S., & Duarte, C. M. (1994). Migration of large-scale subaqueous bedforms measured with seagrasses (Cymodocea nodosa) as tracers. *Limnology and Oceanography*, *39*(1), 126–133. https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.1.0126.

McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., … Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(10), 552–560. https://doi.org/10.1890/110004.

Morris, J. T., Sundareshwar, P. V., Nietch, C. T., Kjerfve, B., & Cahoon, D. R. (2002). Responses of Coastal Wetlands to Rising Sea Level. *Ecology*, *83*(10), 2869–2877. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2869:ROCWTR]2.0.CO;2.

Pilkey, O. H., Neal, W. J., Monteiro, J. H., & Dias, J. M. A. (1989). Algarve barrier islands: a noncoastal-plain system in Portugal. *Journal of Coastal Research*, *5*(2), 239–261. https://doi.org/10.2307/4297527.

Popesso, C., Pacheco, A., Ferreira, Ó., & Fontolan, G. (2016). Evolution of a relocated inlet migrating naturally along an open coast. *Journal of Coastal Research*, *75*(sp1), 233–237. https://doi.org/10.2112/SI75-47.1.

Redfield, A. C. (1972). Development of a New England Salt Marsh. *Ecological Society of America*, *42*, 201–237.

Salles, P. (2001). *Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence. Ph.D. Thesis*. Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA. https://doi.org/10.1575/1912/3042.

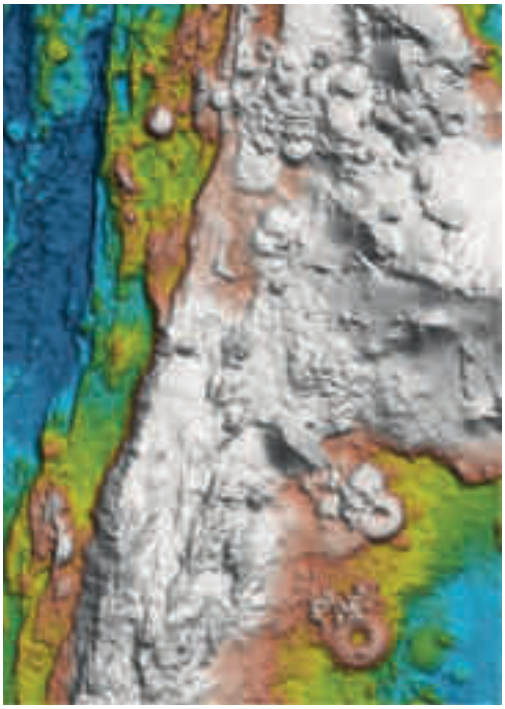
Schanz, A., & Asmus, H. (2003). Impact of hydrodynamics on development and morphology of intertidal seagrasses in the Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, *261*(July 2014), 123–134. https://doi.org/10.3354/meps261123.

Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*, *3*, 79. Retrieved from http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/data/DSASv4_3.pdf.

Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B. D., Matias, A., & Dias, J. M. A. (2004). Lessons from inlet relocation: Examples from Southern Portugal. *Coastal Engineering*, *51*(10), 967–990. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.019.

QUÍMICA DO MEIO MARINHO

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



A novel methodology towards accurate and automatic microplastics identification from the aquatic environment

Morgado, V. (1,2); Palma, C. (1); Silva, R. B. (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. vanessa.morgado@hidrografico.pt.

(2) Centro de Química Estrutural – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C8, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Abstract: Microplastics are characterised according to their physical and chemical properties and can be identified from collected infrared spectrum. This work aims at developing a novel methodology for the automatic identification of microplastics by infrared spectroscopy, overcoming the complexity and time-consuming of a manual interpretation of the spectra. This automatic methodology for microplastics identification involves the application and development of statistical tools, such as correlation coefficients, and the simulation of identification parameters by the Bootstrap method. The identification is given by quantifying the correlation with a reference spectrum and is considered fit-for-purpose if the true positive and the false positive result rate is not lower or not greater than 95 % and 5 %, respectively. Results revealed that PP and PE were the most abundant polymers found in the sediment samples collected from Mondego river estuary and that only automatic identifications based on minimum unweighted Pearson and Spearman correlation coefficients values are valid.

Keywords: aquatic systems, correlation, examination uncertainty, infrared spectroscopy, microplastics.

1. INTRODUCTION

Although the first scientific reports on the presence of microplastics in the environment are dated from the 70s, just a few years ago (micro)plastics are widely recognized as a contaminant of emerging concern in the marine environment. The plastic debris account for more than 60 % of marine litter (Alfred-Wegener-Institut, online portal), and microplastics may reach concentrations over 100,000 particles per m^3 in water or sediments (Wright *et al.*, 2013). Further statistics point that about 1.15 to 2.41 million tons of plastic are dumped into oceans every year from rivers (Lebreton *et al.*, 2017).

The latest definition of microplastics states that they are *any synthetic solid particle or polymeric matrix, with (ir)regular shape and with size ranging from 1 µm to 5 mm, of either primary or secondary manufacturing origin, which are insoluble in water* (Frias and Nash, 2019).

The impact of the presence of microplastics in environment compartments is only understood if this contamination is characterized objectively regarding the physical, i.e. colour, shape and size, and chemical properties, i.e. polymer type. Fourier Transform Infrared, FTIR, spectroscopy is a technique broadly used on microplastics analysis. The infrared, IR, spectrum allows identifying the polymer type, working as a molecular fingerprint, since it is unique for any chemical structure. The identification of microplastics from the IR spectrum can be a challenge in some cases, especially when the particles are covered by a biofilm, or whenever spectral inconsistencies appear due to differences in plastic additives and copolymers, aging and coating.

This work aims at developing a novel methodology towards the automatic identification of microplastics by FTIR spectroscopy, overcoming the complexity and time-consuming of a manual interpretation of characteristic spectral bands. The automatic identification of the IR spectra can be supported on a faster mathematical comparison between unknown microparticles and references, e.g. spectra agreement index such as correlation. This methodology involves the application and development of statistical tools, such as correlation coefficients, and the simulation of identification parameters by the Bootstrap method.

The methodology developed in this work defines and validates statistically sound criteria for an accurate and automatic identification of microplastics with a true positive result rate, *TP*, not lower than 95 % and a false positive result rate not greater than 5 %. This work presents results of the presence of microplastics in sediment extracts collected from Mondego river estuary, Portugal, improving the preliminary results on the polymer type identification already reported (Gomes *et al.*, 2020).

2. EXPERIMENTAL

2.1. Sampling

Nine sediment samples were collected from Mondego river estuary using a Petite Ponar sampler. The sampling positions, illustrated in Figure 1, were studied. The samplings were carried out in the framework of a large program of campaigns along Portuguese Continental west and south coasts, rivers,

and other estuarine areas (e.g. Mondego river estuary), that aimed at identifying areas adequate for aquaculture practise. These areas were studied regarding oceanographic, physical, chemical, geological and biological characteristics. The assessment of the chemical characteristics comprises the determination of the presence of several (in)organic contaminants, including microplastics. The sampling of sediments in these environmental compartments allowed identifying the most abundant type of polymers and collecting the instrumental signals required to define objective criteria for automatic microplastics identification.



Fig. 1. Sampling positions (S1 to S9) in the Mondego river estuary, Portugal.

2.2. Sample preparation

After sampling and freezer storage until preparation, the nine sediment extracts were sieved through a mesh size of 5.6 mm and then freeze-dried. An aliquot between 50.0 g to 100.0 g of the dried sediment extract was digested using hydrogen peroxide, H_2O_2, 30 %. After the digestion period, followed by a second freeze-dry, the aliquot was transferred to a column of saturated sodium chloride, NaCl, solution settled for a minimum of 4 h. This procedure allows the separation of microplastics from the remaining matter of the sample based on their densities, however, it only allows the determination of less dense polymers than the saturated NaCl solution. Afterward, the saturated NaCl solution was filtered using 47 mm polycarbonate membranes with 0.45 µm pores. The filter was stored in a labelled petri dish until analysis. For a better recovery of microplastics, the density separation and filtration procedures were repeated in the settled sediment.

2.3. Microplastics analysis

The two filters obtained per sample were handled under a Leica MZ 16 F binocular loupe that reaches 115x maximum amplification, to identify the suspicious microparticles before µFTIR analysis. The isolated microparticles were placed over a gold substrate and analysed with a µFTIR spectrometer Spotlight 200i Microscope System of Perkin Elmer. Spectra were collected from 4000 cm^{-1} to 600 cm^{-1} and recorded under reflectance mode with 8 scans, 1 cm^{-1} and 4 cm^{-1} wavenumber intervals and resolution, respectively.

3. METHODOLOGY: EXAMINOLOGICAL ASSESSMENT OF IDENTIFICATIONS

3.1. Microplastics ID

The spectra used to develop the methodology for the automatic identification of polymers based on the comparison between the unknown microparticle and reference spectra were, firstly, subjected to a careful manual identification of the characteristic spectral bands. The IR spectrum presents characteristic bands of the various vibration modes (e.g. stretching, υ, and bending, δ, vibrations) of the chemical structure; for example, polipropylene, PP, presents υ(C–H), $\delta(CH_2)$ and $\delta(CH_3)$ vibrations at [3000–2800] cm^{-1}, [1500–1450] cm^{-1} and [1400–1350] cm^{-1}, respectively; combined band of υ(C–C), δ(CH) and $\delta(CH_3)$ vibrations at [1200–1150] cm^{-1}; $\delta(CH_3)$ and δ(CH) vibrations at [1030–980] cm^{-1}; υ(C–C) and $\delta(CH_3)$ vibrations at [1000–940] cm^{-1}; combined bands of $\upsilon(C–CH_3)$, υ(C–C), υ(C–CH) vibrations and $\delta(CH_2)$ vibration at [850–800] cm^{-1} (Sadtler Research Laboratories, 1980).

3.2. Definition and validation of identification criteria

The collected spectra were automatically assessed by the correlation, namely weighted and unweighted Pearson, Spearman and Alternative correlation coefficients, between particle and reference spectra. The used weighted correlation coefficients were adapted from algorithms described by Costa (Costa, 2011) and the *Spectrum IR* software of Perkin-Elmer. Two distinct weighting schemes were studied for the weighted correlations coefficients.

The developed methodology involves the definition of a minimum correlation, *P5»*P, above which identification is associated with minimum true positive result rate, *TP*, of 95 % (i.e. false negative result rate not greater than 5 %). The *P5»*P is estimated by Bootstrap simulations supported on records of spectra correlation coefficients with a reference spectrum. The *P5»*P is the 5^{th} percentile of the simulated sets of correlation coefficients.

The determination of the vulnerability of the analysis to false positive identifications, i.e. wrongly stating that the microparticle and the reference are from the same polymer type, is based on simulating sets of correlation coefficients of spectra from polymers different from the reference one. These simulations were performed by the Bootstrap method. The mean and standard deviation of simulated sets allowed modelling the probability of a particle from a plastic different from the reference one producing a correlation coefficient greater than *P5»*P; i.e. a false

positive. It was assumed that the correlation coefficient between spectra of a particle from a plastic different from the reference one has a normal distribution. The Bootstrap method also allows to estimate the 95th percentile, *P*95»N, of correlation coefficients from spectra of different plastics that, ideally, should be lower than the *P*5»P.

3.3. Evaluation of the identification uncertainty

The objectivity of qualitative and quantitative characterizations of microplastics pollution status or trends is achieved by determining their uncertainty, i.e. the impact of analytical steps and system heterogeneity on the collected information.

This novel approach aims at supporting reliable automatic identifications of microplastics in sediment extracts based on (un)weighted correlation coefficients between particle and reference spectra. Identification is only valid (i.e. fit-for-purpose) if the *TP* and *FP* are not lower than 95 % and not greater than 5 %, respectively.

The uncertainty of the automatic identifications, i.e. the expression of the quality of the identification, can be quantified by the Likelihood Ratio, $LR(+) = TP/FP$. Assuming the particle has a prior probability of 50 % matching the reference regarding polymer type, the *LR*(+) expresses how many times the positive result is more likely true than false. Considering the defined criteria for the *TP* and *FP*, the analysis fitness for purpose can be controlled by assessing if the *LR*(+) is greater than 19.

4. RESULTS AND DISCUSSION

In the nine sediment samples analysed were found 72 microplastics. Of the 72 microplastics, 42 were identified by spectral analysis as being PP, six as polyethylene, PE, four as polyacrilamide, PA, three as polystyrene, PS, one as polycarbonate, PC, and one as polytetrafluoroethylene, PTFE. The remaining 15 microplastics were not conclusively identified. Figure 2 presents the proportion of polymer types identified in the nine sediment extracts sampled from Mondego river.

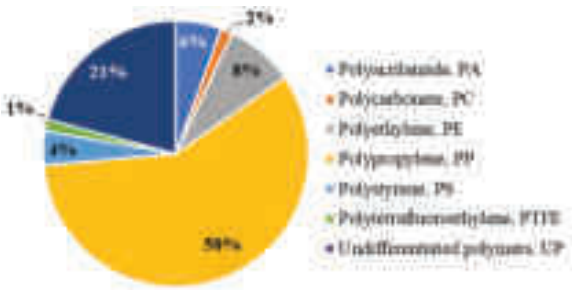


Fig. 2. The proportion of polymers types identified in the nine samples from Mondego river estuary.

Besides chemical characterization, the microplastics found were characterized according to their physical properties. Figure 3 and Figure 4 present the distribution of microplastics of the nine samples by the largest size or colour and polymer type. Colour and shape were determined under the binocular loupe. All microplastics were considered fragments except one PP fibre.

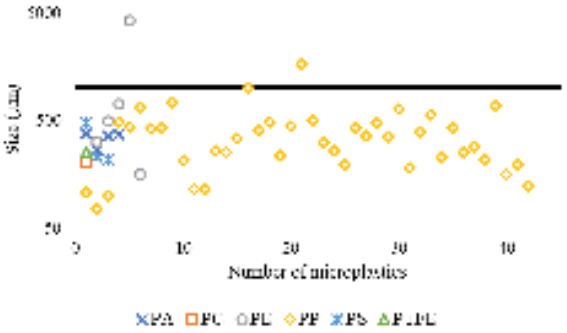


*Fig. 3. Distribution of microplastics of the nine samples from Mondego river estuary by size and polymer type. A logarithmic scale is used to represent the size. The black line marks the transition between small and large microplastics (*1000 µm*).*

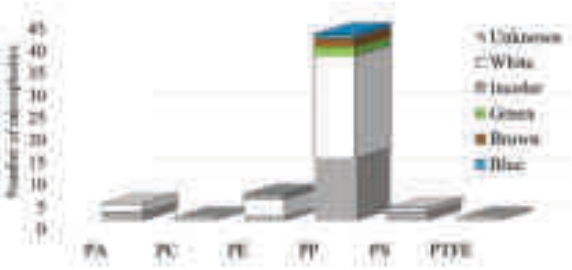


Fig. 4. Classification of microplastics of the nine samples from Mondego river estuary by colour and polymers type.

The results of developed methodology for the automatic identification of microplastics are presented in this work identification of the PP. The automatic identifications of PP based on minimum unweighted Pearson and Spearman correlation coefficients values of 0.567 and 0.530 (i.e. *P*5»P), associated with *LR*(+) of 32.79 and 37.29, and *FP* of 2.9 and 2.5, respectively, were the only ones considered valid, since the associated *LR*(+) and *FP* values were greater and lower than the target 19 and 5 % values, respectively. This can be confirmed by the fact that *P*95»N is lower than the *P*5»P. Table I presents the estimated values of *P5*»P, *P95*»N, *FP*, and *LR*(+) for the automatic identification of PP estimated for various correlation coefficients.

5. CONCLUSION

The determination of the quantity, and chemical and physical classifications of microplastics is essential for the characterization of environmental contamination, which can be relevant to the

Table I. Simulated values of 5th percentile, P5»P, 95th percentile, P95»N, false positive result rate, FP, and likelihood ratio, LR(+), associated with a true positive result rate, TP, equal to 95 %, for the automatic identification of PP. The estimated values from weighted Pearson, Spearman and Alternative correlation coefficients were acquired with two distinct weighting schemes (separated by || in the table).

***TP* = 95 %**	***P*5»P**	***P*95»N**	***FP* (%)**	***LR*(+)**
Unweighted Pearson	**0.567**	**0.509**	**2.9**	**32.79**
Weighted Pearson	0.472||0.293	0.855||0.500	37.6||23.5	2.53||4.04
Unweighted Spearman	**0.530**	**0.525**	**2.5**	**37.29**
Weighted Spearman	0.718||0.840	0.844||0.715	31.5||35.8	3.52||2.02
Unweighted Alternative	0.926	0.932	23.4	4.06
Weighted Alternative	0.882||0.840	0.923||0.928	27.0||47.1	3.52||2.02

assessment or definition of new environmental protection policies. Following the procedure used in this work, in the extracts of the nine sediments sampled from Mondego river estuary, it was found 72 microplastics. PP and PE were identified as the most abundant polymer types in samples with 58 % and 21 % of particles, respectively. This finding agrees with the published results of the worldwide presence of microplastics in the aquatic environment.

This work aimed at developing a novel methodology towards accurate and automatic identification of microplastics by FTIR spectroscopy, which involved the application of various correlation coefficients and simulation of identification parameters by the Bootstrap method. In this work, the methodology was successfully applied for the identifications of PP based on minimum unweighted Pearson and Spearman correlation coefficients values. The associated *LR*(+) and *FP* are greater and lower than the target 19 and 5 % values, which confirm that these identifications are fit-for-purpose.

The defined methodology for collecting microplastics analysis data is particularly adequate for a realistic determination of its performance. Therefore, this work can contribute to moving forward both the most advanced and the most accessible spectral agreement indexes and is useful for identifications based on complex spectral agreement indexes or simple correlation coefficients determined in commercial FTIR spectrometer software.

Furthermore, the developed methodology can be applied to identifications supported on other spectra agreement indexes (e.g. random decision forest classifiers, machine learning algorithms, chemometric approaches, references database design, etc.), types of spectra (e.g. micro-ATR-FTIR, ATR-FTIR, Raman) or material systems (e.g. forensic samples).

Acknowledgments

This work was supported by Universidade de Lisboa through a PhD Scholarship 2018, the Operational Program Mar2020 through project "AQUIMAR – Caracterização geral de áreas aquícolas para estabelecimento de culturas marinhas" (MAR2020 nº MAR-02.01.01-FEAMP-0107) and Fundacão para a Ciência e Tecnologia (FCT) through projects UIDB/00100/2020 and UIDP/00100/2020.

REFERENCES

Alfred-Wegener-Institut, Litterbase, Online Portal for Marine Litter. Available at: https://litterbase.awi.de/.

Costa, J. (2011). *Weighted Correlation*. En: Lovric, M. (eds.) *International Encyclopedia of Statistical Science*. Springer, Germany, 1653-1655.

Frias, J., and Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. Marine Pollution Bulletin, 138, 145-147.

Gomes, G.B., Morgado, V., Palma, C. (2020). Preliminary Data on Polymer Type Identification from Estuarine Environmental Samples. En: Cocca, M., Pace, E.D., Errico, M.E., Gentile, G., Montarsolo, A., Mossotti, R., Avella, M. (eds.) Proceedings of the 2nd International Conference on Microplastic Pollution in the Mediterranean Sea. Springer, Switzerland, 170-174.

Lebreton, L., van der µZwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. Nature Communications, 8, 15611.

Sadtler Research Laboratories. (1980). The Infrared Spectra Atlas of Monomers and Polymers. Sadtler Research Laboratories, Pennsylvania.

Wright, S., Thompson, R., Galloway, T. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution, 178, 438-492.

A contribuição do projeto CONPRAR para a qualidade da água e moluscos bivalves da Ria Formosa

Jacob, J. (1); Cravo, A. (1); Correia, C. (1); Matos, A. (1); Caetano, S. (1); Barbosa, A. B. (1)

(1) Universidade do Algarve, CIMA, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. jjacob@ualg.pt.

Resumo: A Ria Formosa (RF) representa o maior produtor nacional da ameijoa *Ruditapes decussatus*. A dispersão de efluentes das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) neste ecossistema constitui uma pressão antropogénica importante. No contexto do 14º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que pretende proteger as zonas costeiras e a vida marinha, o projeto CONPRAR tem como objetivo avaliar o impacto das cinco principais ETAR da RF, particularmente nas áreas de cultivo de ameijoa. A avaliação da qualidade da água é baseada em variáveis químicas, composição específica do fitoplâncton e indicadores bacteriológicos de contaminação fecal. A influência das ETAR é também analisada para diferentes cenários e condições reais, utilizando modelos numéricos de circulação e contaminação fecal. Os resultados do projeto serão disponibilizados numa plataforma WebSIG, destinada a entidades gestoras, grupos de interesse e público em geral, pretendendo apoiar a gestão e proteção do ecossistema RF, e da ameijoa *Ruditapes decussatus* em particular.

Palavras-chave: bivalves, efluentes, ETAR, qualidade da água, ria Formosa.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas lagunares costeiros ocupam cerca de 13% das áreas costeiras a nível mundial e têm um alto valor ecológico e económico (Kennish and Pearl, 2010). Contudo, estão entre os ecossistemas mais ameaçados do planeta, nomeadamente devido a descargas de águas residuais urbanas (Kennish and Pearl, 2010). Os problemas de qualidade da água associados a estas descargas incluem: (a) o aumento da concentração de matéria orgânica que promove a decomposição microbiana, depleção de oxigénio e, em última instância, processos de eutrofização das águas recetoras; (b) o aumento de nutrientes inorgânicos, que podem estimular o crescimento de algas e promover o desenvolvimento de florescências nocivas (Glibert *et al.,* 2018); e (c) a contaminação por microrganismos patogénicos que afetam organismos filtradores e que podem causar problemas de saúde pública (Metcalf e Eddy, 1995). A Ria Formosa, no sul de Portugal (Fig. 1), é um sistema lagunar pouco profundo, ocupa *ca.* 100 km^2 e tem diversas barras de comunicação com o mar. Este ecossistema é o maior produtor nacional do molusco bivalve *Ruditapes decussatus* (ameijoa). Este recurso biológico depende da qualidade da água, a qual sofre influência de descargas de águas residuais (Cravo *et al.,* 2015, 2018). No âmbito do Projeto CONPRAR foram consideradas variáveis químicas indicadoras de qualidade de água, a composição específica do fitoplâncton, incluindo espécies potencialmente nocivas, e a contaminação fecal na avaliação do impacto das principais Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) na qualidade da água da Ria Formosa, particularmente nas áreas de viveiros de *Ruditapes decussatus*.



Fig. 1. Localização da Ria Formosa e das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) estudadas: FNO (Faro-Noroeste); Faro-Olhão (FO); Olhão Poente (OP); Olhão Nascente (ON); e Tavira (T). Para cada ETAR, estão identificados o ponto de descarga, as estações de amostragem e as áreas cobertas por viveiros de ameijoas Ruditapes decussatus (polígonos cedidos pela APA – Agência Portuguesa do Ambiente).

2. O CONTEXTO DO PROJETO CONPRAR

Dado o elevado valor ecológico e socioeconómico do sistema lagunar Ria Formosa, com especial relevância como zona de produção de bivalves, torna-se imperioso a sua proteção, preservação e valorização. Neste ecossistema, estes recursos biológicos sofrem várias pressões antropogénicas e, dentro das pressões diretas ou pontuais, destacam-se as descargas de águas residuais urbanas. O projeto CONPRAR tem como objetivos avaliar o impacto das águas residuais nas condições ambientais sob as quais vivem os bivalves que, como espécies filtradoras, dependem intrinsecamente da qualidade da água, e minimizar a sua contaminação. Importa, por isso, efetuar um diagnóstico ambiental nas áreas de influência das Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (ETAR), contribuindo para minimizar os riscos decorrentes da sua atividade na Ria Formosa. Contudo, são raros os estudos que analisaram, de várias s vertentes definidoras da qualidade do habitat dos bivalves, incluindo a química da água, a composição do fitoplâncton e a contaminação microbiológica. Algumas ETAR sofreram alterações e melhorias de infraestruturas na última década, que se refletiram na qualidade do tratamento (Faro Noroeste, Olhão Nascente), e outras foram desativadas e relocalizadas (Tavira). Contudo, decorridos cerca de 15 anos, não se conhece ainda, de forma clara e rigorosa, o impacto global destas alterações na qualidade da água na área de influência destas ETAR da Ria Formosa. Recentemente, em novembro 2018, foram efetuadas alterações significativas neste sistema, que incluíram a desativação das ETAR de Faro Nascente e Olhão Poente e o tratamento conjunto dos seus efluentes numa única e nova ETAR de Faro-Olhão, implantada na antiga ETAR Faro Nascente. Neste caso, foi adicionalmente aplicado um tratamento de água mais avançado e inovador, usando biomassa granular aeróbica (sistema Nereda®). Neste contexto, o projeto CONPRAR revela-se fundamental e representa uma oportunidade para efetuar:

a) o diagnóstico da situação atual, integrando as vertentes qualidade química da água, fitoplâncton e contaminação microbiológica;

b) a avaliação temporal do impacto das cinco principais ETAR a descarregar na Ria Formosa, entre os anos 2001-2002 e a atualidade;

c) a avaliação do impacto da nova ETAR de Faro-Olhão, quando comparada com a situação anterior, com duas ETAR em funcionamento.

3. METODOLOGIA APLICADA

As áreas de estudo incluem as imediações das cinco principais ETAR na Ria Formosa (Fig. 2): 1 - Faro Noroeste (FNO); 2 - Faro-Olhão (FO); 3 - Olhão Nascente (ON); 4 Olhão Poente (OP); e 5 – Tavira (T), incluindo, quando possível, viveiros de bivalves. O período de amostragem decorre entre setembro de 2018 e setembro de 2020. A amostragem é bimensal no período de abril a setembro, mais crítico para o desenvolvimento de florescências fitoplantónicas, de forma a cobrir as duas situações extremas de maré quinzenal (maré morta e maré viva), e mensal no período de setembro a março. No último período, a amostragem decorre somente em fase maré morta, por corresponder às condições de maior tempo de residência da massa de água. Em cada dia de amostragem, as amostras de água são colhidas nas situações de baixa-mar e preia-mar, ao longo dos gradientes longitudinais de dispersão dos efluentes (1-2 km), a partir do ponto de descarga (Fig. 2).



Fig. 2. Locais de descarga das cinco principais Estações de Tratamento de Águas Residuais na Ria Formosa.

São medidos uma série de parâmetros físico-químicos *in situ* (temperatura de superfície, salinidade, pH e oxigénio dissolvidos), com sonda multiparamétrica (YSI EXO 2), e recolhidas amostras de água de superfície (*ca*. 20-30 cm) (Fig. 3), para posterior análise de nutrientes inorgânicos, clorofila *a*, abundância e composição específica de fitoplâncton e indicadores bacteriológicos de contaminação fecal.

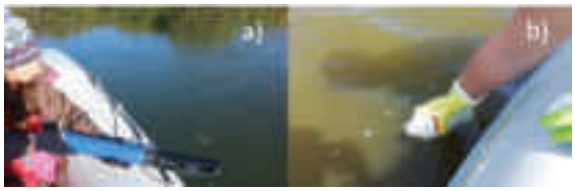


Fig. 3. a) Medição in situ de parâmetros físico-químicos e b) recolha de amostras de água de superfície.

As concentrações de nutrientes), são determinadas em amostras filtradas através de um filtro Gelman de 0,45 µm porosidade, previamente descontaminado. Estas após filtração, são congeladas a -20° C até ao momento da sua análise e quantificadas por métodos espectrofotométricos (Grasshoff *et al.* 1999). No caso da clorofila *a*(usada como indicador da biomassa total do fitoplâncton), as amostras são filtradas em filtros de fibra de vidro GF/F (0,7 µm de porosidade) e congeladas a -20° C até ao momento da sua análise através do método deLorenzen, 1967. A composição específica e abundância do fitoplâncton são determinadas por microscopia de inversão, de acordo com a norma EN 15204:2006, baseada no método descrito por Utermöhl (1958). As amostras são preservadas com solução de Lugol, imediatamente após a colheita, concentradas em câmaras de sedimentação e observadas com ampliação de 400x, em microscópio de inversão (Zeiss Axio Observer A1). A contaminação fecal é avaliada a partir da estimativa do número mais provável (NMP) de *Escherichia coli* e enterococcus com base no método *Quanti-Tray*, usando os sistemas Colilert e Enterolert e as instruções do fabricante (IDEXX Laboratories, Westbrook, Maine).

4. O CONTRIBUTO DO PROJETO CONPRAR PARA A QUALIDADE DA ÁGUA E MOLUSCOS BIVALVES DA RIA FORMOSA

O projeto CONPRAR pretende ainda desenvolver um índice de qualidade para moluscos bivalves que integre as três componentes de qualidade da água (química, fitoplanctónica e contaminação fecal), sendo esta uma inovação neste tipo de estudos. O projeto irá também desenvolver uma plataforma WebSIG para a divulgação integrada dos resultados, nomeadamente do índice de qualidade para bivalves, que contribuirá para apoiar a gestão integrada da Ria Formosa. Esta plataforma integrará os dados resultantes da observação do sistema e os resultados da aplicação de modelos numéricos de alta resolução (Fig. 4). Será utilizado o sistema de modelos numéricos SCHISM para a simulação da circulação (Zhang *et al.*, 2016) e da contaminação fecal (Rodrigues *et al.*, 2011) para prever a resposta da qualidade da água na Ria Formosa face a cenários futuros. Estes resultados poderão ser utilizados para antecipar as consequências e mitigar os efeitos da variabilidade ambiental e contribuirão para melhorar a compreensão dos processos que influenciam a qualidade da água e dos bivalves neste ecossistema.

Através da medição/observação e integração de modelos, a curto e a longo prazo, as atividades do projeto CONPRAR contribuirão para a proteção da Ria Formosa e comunidades biológicas associadas e, em particular, para a sustentabilidade dos bivalves existentes nas imediações das zonas de influência das ETAR. O projeto representa ainda uma oportunidade específica para melhorar a compreensão e a capacidade de previsão da salubridade dos bivalves no ecossistema.



Fig. 4. Diagrama concetual do projeto CONPRAR.

Este projeto está ainda alinhado com dois dos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável definidos pelas Nações Unidas, na Agenda 2030. Destes destacam-se o objetivo 6 (Água Potável e Saneamento para todos de forma a reduzir a poluição) e o objetivo 14 (Proteger a Vida Marinha e diminuir a poluição marítima de todos os tipos, incluindo por nutrientes). Pretende contribuir para promover a qualidade da água na Ria Formosa, através de um diagnóstico ambiental multi- e interdisciplinar. Adicionalmente, permitirá identificar áreas e/ou períodos potencialmente críticos e, se necessário, contribuirá para a melhoria dos sistemas de tratamento utilizados nas ETAR. As ferramentas de previsão desenvolvidas no projeto permitem suportar a seleção de locais adequados para descarga de efluentes das ETAR na Ria Formosa, que minimizem a contaminação dos moluscos bivalves.

5. CONCLUSÕES

As observações e previsões do projeto CONPRAR permitirão identificar locais e/ou períodos de menor e maior risco para o consumo de bivalves produzidos na Ria Formosa e, desta forma, orientar os produtores, consumidores e gestores ambientais.

Os modelos contribuirão ainda para melhorar a resposta do sistema face a cenários futuros, permitindo antecipar consequências e mitigar efeitos.

As atividades do projeto CONPRAR, incluindo a medição/observação e modelos numéricos preditivos, contribuirão para a proteção do ecossistema Ria Formosa e comunidades biológicas associadas e, em particular, para a sustentabilidade dos moluscos bivalves.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da PO Mar2020 (MAR-01.04.02-FEAMP-0003) e a ajuda de todos os voluntários durante as atividades de amostragem e laboratório.

REFERÊNCIAS

Cravo, A.; Fernandes, D.; Damião, T.; Pereira, C., and Reis, M.P., 2015. Determining the footprint of sewage discharges in a coastal lagoon in South-Western Europe. *Marine Pollution Bulletin*, 96, 197-206.

Cravo A.; Ferreira C.; Jacob J. 2018. Water quality improvement in Ria Formosa since the early 2000? In: Saldanha Matos, J. and Rosa, M. J. (eds). *Sanitation Approaches and Solutions and The Sustainable Development Goals*. ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Serviços, EWA – European Water Association, APESB – Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental. pp 307-322.

Glibert, P.M.; Al-Azri, A.; Allen, J.I.; Bouwman, A.F.; Beusen, H.W.; Burford, M.A.; Harrison, P.J., and Zhou, M., 2018. Key questions and recent advances on harmful algal blooms in relation to nutrients and eutrophication. In: Glibert, P.M.; Berdalet, E.; Burford, M.A.; Pitcher, G.C., and Zhou, M. (eds.), *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms*, Springer, 229-260 pp.

Grasshoff, K.; Erkhardt, M., and Kremling, K., 1999. Methods of Seawater Analysis. 3rd Edition.Verlag Chemie, New York.

Kennish, M.J. and Paerl, H.W., 2010. Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change. En: Kennish, M.J. and Paerl, H.W. (eds.), *Coastal Lagoons*. CRC Press, pp. 1–16.

Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12(2), 343–346.

Metcalf and Eddy, Inc., 1995. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. McGraw-Hill Ltd., New Delhi.

Rodrigues, M., Oliveira, A., Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Menaia, J., David, L.M., Cravo, A., 2011 – Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal - Ocean Dynamics. 61(6), 841-856.

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkomnung der quantitativen Phytoplankton-Meyhodik. Mitt Internat Ver Limnol 9, 1-38.

Zhang, Y.J., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S., 2016 – Seamless cross-scale modeling with SCHISM. Ocean Modelling. 102, 64-81.

Metais no estuário do Sado e implicações na qualidade ambiental

Almeida, J. (1); Palma, C. (1); Brito, A. (2); Félix, P. (2)

(1) Instituto Hidrográfico. jose.almeida@hidrografico.pt.

(2) MARE – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Resumo: No âmbito do projeto AQUASADO, entre a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e o Instituto Hidrográfico, têm sido realizadas campanhas ao estuário do Sado desde Março/2018 até ao momento, havendo recolha de amostras mensais da coluna de água e anuais dos sedimentos com o propósito de analisar as concentrações em metais. As amostras de água são recolhidas em 7 estações e as de sedimentos em 35 estações, obtendo-se uma maior abrangência espacial. Os resultados são analisados do ponto de vista da Qualidade Ambiental, tendo em conta legislação europeia e nacional, assim como índices de qualidade, fatores de enriquecimento, rácios e análise estatística. São ponderadas as possíveis origens antropogénicas dos metais tendo em conta as atividades em torno do estuário. Os resultados de 2018 indicam maiores variações nas estações com possível influência industrial (Marateca) e a montante do estuário.

Palavras-chave: coluna de água, estuário do Sado; metais; qualidade ambiental; sedimentos.

1. INTRODUÇÃO

Os metais são elementos químicos presentes naturalmente no meio ambiente fazendo parte dos ciclos biogeoquímicos de enzimas e proteínas (caso do ferro e do zinco), mas em concentrações elevadas podem apresentar efeitos tóxicos (Mason, 2013). Um exemplo de um metal com possíveis efeitos negativos no ambiente e seres humanos é o mercúrio, um elemento que é bioacumulável nos tecidos dos peixes sob a forma de metil-mercúrio (Järup, 2003) a partir do mercúrio presente em fitoplâncton (Cabrita *et al.*, 2013, 2014). Assim, o estudo dos metais merece atenção tanto do ponto de vista da qualidade ambiental como da saúde humana.

Os metais podem ser analisados em várias matrizes, sendo as mais comuns a biota e os sedimentos. Neste caso serão analisadas em águas e sedimentos. As concentrações em águas representam apenas um momento devido ao efeito de diluição das águas; no entanto, através de uma análise a longo prazo é possível verificar as variações numa mesma estação e, dessa maneira, compreender as mudanças que aí ocorrem. Os sedimentos tendem a ser mais conservativos devido à adsorção dos metais aos sedimentos, em particular de sedimentos finos e orgânicos, podendo uma amostra ser um registo das deposições ao longo do tempo (Freitas *et al.*, 2008).

Poucos trabalhos têm sido publicados em revistas científicas sobre os metais no estuário do Sado. Desde Cortesão & Vale (1995), o primeiro a analisar a presença e as possíveis origens de metais nos sedimentos, Caeiro *et al.* (2005) e Lillebø *et al.* (2011) analisaram, respetivamente, as concentrações de metais em sedimentos e de mercúrio em água, sedimentos e biota, com o âmbito de avaliar a qualidade ambiental do estuário, a primeira através de índices e a segunda por comparação com níveis de qualidade ambiental definidos. Os três estudos concluíram que as influências urbana e industrial da margem Norte do estuário são as mais significativas como fontes de metais no estuário.

A área de estudo é o estuário do Sado, um sistema de transição entre rio/continente e oceano, sendo uma zona onde convergem vários interesses. A Reserva Natural do Estuário do Sado alberga uma elevada variedade de espécies, destacando-se a avifauna (ex. os flamingos) e os golfinhos roazes. É também uma zona histórica de produção do sal que tem vindo a ser convertida em culturas de arrozais e aquacultura em torno do rio Sado e a montante do canal da Marateca. Outra componente das atividades humanas presentes são as indústrias e os portos a Norte do estuário, e a pressão urbana, em particular na cidade de Setúbal (Brito, 2009). É uma zona sujeita a dragagens constantes para acesso aos portos, cuja ressuspensão dos sedimentos e dos metais depositados pode ter efeitos na saúde ambiental do estuário.

1.1. Metodologias

Este trabalho foi realizado no contexto do projeto AQUASADO, uma parceria entre o MARE da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e o Instituto Hidrográfico, com a pretensão de promover uma aquacultura sustentável no estuário do Sado. Desde Março de 2018 têm sido realizadas campanhas mensais na coluna de água em 7 estações (Fig. 1), em condições de preia-mar e marés mortas (8 em ciclos de maré, nos meses de Maio e Novembro). A campanha de recolha de sedimentos é anual e decorre em 35 estações (Fig. 2).

As análises de metais em água foram realizadas bimensalmente. Os metais foram determinados por Espectrometria com chama ou gerador de hidretos, com exceção do mercúrio que foi analisado pela técnica de vapor frio (água) e por combustão

(sedimentos). Para o tratamento estatístico recorreu-se ao *software* Primer 6 & Permanova +. Os resultados aqui apresentados são referentes a campanhas realizadas no ano de 2018.



Fig. 1. Estações de amostragem da coluna de água.



Fig. 2. Estações de amostragem dos sedimentos.

2. RESULTADOS

2.1. Águas

Para as águas foram analisados 8 elementos: arsénio (As), cádmio (Cd), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn). As concentrações destes elementos são, de um modo geral, relativamente constantes ao longo do tempo, apresentando uma tendência de diminuição das concentrações das estações interiores (1 a 4) para as exteriores (5 a 8), o que condiz com a influência das marés na diluição destes elementos aquando da renovação das massas de água. No entanto alguns valores anómalos destacam-se.

Começando pelo cádmio, as estações onde se verificam valores anómalos encontram-se nas zonas urbana (cidade de Setúbal, estação 6) e industrial (canal da Marateca, estação 3) (Fig. 3). O valor médio anual no estuário são 0,13µg/L, com as estações 3 e 6 a registarem concentrações entre os 0,25 e os 0,45µg/L, a primeira nos meses de Julho e Novembro e a segunda nos de Março, Maio e Setembro. Comparando os resultados com as Normas de Qualidade Ambiental (NQA) definidos na Diretiva 2008/105/CE (CE, 2008), o valor médio anual obtido encontra-se abaixo dos 0,2µg/L definidos, mas as concentrações mais elevadas aproximam-se do valor máximo admissível de 0,45µg/L definido, o que indica uma fonte de enriquecimento. Uma das fontes possíveis são as lamas resultantes do tratamento de águas nas ETAR.

O Fe apresenta um valor médio anual de 6,15µg/L, sendo relativamente constante ao longo do tempo, exceto no mês de Maio na estação 4 (Marateca) com uma concentração de 28,9µg/L e em Novembro nas estações 3, 4 e 5 (canal da Marateca e Lisnave) com concentrações entre os 20 e os 25 µg/L. Estas estações são as mais próximas da zona industrial, pelo que a atividade nesta zona pode explicar os picos verificados.

Por fim, o Zn apresenta uma tendência de redução da concentração no sentido interior-exterior do estuário, e um valor médio anual de 9,92µg/L (Fig. 4). Este valor ultrapassa a NQA de 7,2µg/L definida pela Agência Portuguesa do Ambiente no Plano Geral das Regiões Hidrográficas 2016/2021 (APA, 2016) para os rios da região do Sado e Mira. Além disso foram ainda registadas uma concentração de 31,7µg/L na estação 4 (a montante da Marateca) em Julho e de 39,2µg/L na estação 1 (a estação mais interior do rio Sado) em Setembro. A proximidade dos arrozais e a utilização de fertilizantes com compostos de Zn são as origens mais prováveis para os valores observados.

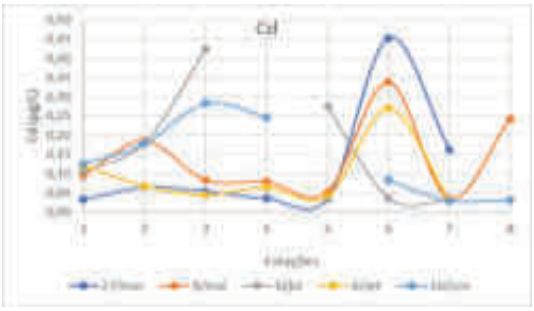


Fig. 3. Concentrações de Cd na coluna de água.

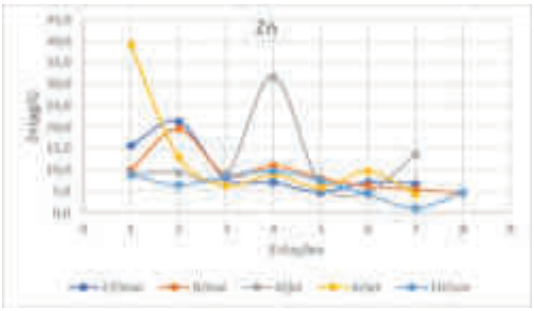


Fig. 4. Concentrações de Zn na coluna de água. A tendência decrescente das estações a montante para jusante é visível, assim como os valores anómalos.

2.2. Sedimentos

Nas amostras de sedimentos foram analisados os mesmos elementos que nas águas, o alumínio (Al), crómio (Cr) e manganês (Mn), assim como as características físicas dos sedimentos, nomeadamente a granulometria e o teor em matéria orgânica total (MOT). Existem 2 regiões coincidentes onde as percentagens de sedimentos finos (inferiores a 63µm) e de MOT apresentam valores mais elevados (superiores a 80% de finos e entre 9 e 12 % de MOT): na zona do ribeiro existente no rio Sado (em torno da estação 10), e a montante do canal da Marateca. O

interior do estuário apresenta os valores menores (inferiores a 30% de finos e de 3% de MOT), e as restantes estações ao longo do rio e nas margens da embocadura (próximo da ilha do Cavalo e da Comporta) apresentam valores intermédios.

De um modo geral é possível separar os metais em 2 grupos: um grupo em que se destacam um pequeno número de estações pelas suas elevadas concentrações de metais (incluindo normalmente as estações 7, 10 e 16), sendo anómalas em relação à generalidade das estações (caso do As, Cd, Cu, Hg, Mn, Pb e Zn); e outro em que as maiores concentrações se encontram numa área mais alargada (caso do Cr, Fe e Ni). A Fig. 5 demonstra o caso do Cr, sendo ilustrativo da distribuição dos elementos do 2º grupo.

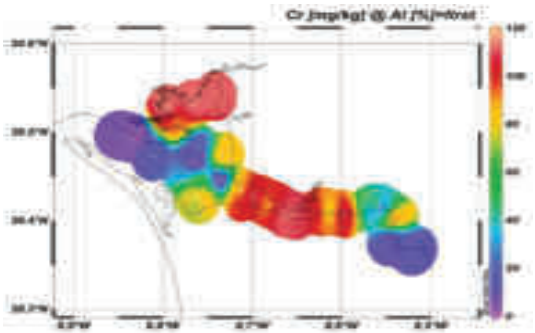


Fig. 5. Distribuição das concentrações de crómio no sistema.

Para análise das correlações entre as concentrações e as variáveis ambientais recorreu-se ao teste DistLM no *Primer*. A conclusão foi que a percentagem de MOT justifica, pelo menos, 75% da variação das concentrações na maioria dos metais analisados (excetuando o Cd, Mn e Zn, sendo a variação do último justificada em 60% pela MOT).

Tendo em conta a Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro (DR, 2007), onde estão fixadas as regras para a utilização dos recursos hídricos (a Tabela 2 do Anexo III apresenta uma classificação dos materiais dragados com base no seu grau de contaminação em metais), o Cr e o Zn apresentam estações classificáveis de Classe 3 (material ligeiramente contaminado). As concentrações que classificam um material de Classe 3 variam entre 600 e 1500 mg/kg para o Zn e entre 100 e 400 mg/kg para o Cr. No caso do Zn as estações 7, 10 e 16 apresentam concentrações entre os 600 e os 900 mg/kg, enquanto para o Cr as estações 7, 9-13, 16, 19, 25 e 31-33 apresentam concentrações entre os 100 e os 115 mg/kg. As estações em que se registam as concentrações mais elevadas são coincidentes com as estações em que a percentagem de finos e o teor de MOT é mais elevado, algo que não é de estranhar pela conhecida preferência dos metais pelos sedimentos mais finos e de elevados teores orgânicos para deposição e acumulação (Freitas *et al.*, 2008).

A comparação das concentrações obtidas com valores de referência permite averiguar a influência antropogénica nas estações amostradas. Para tal recorre-se aos Fatores de Enriquecimento, calculados com a seguinte fórmula:

$$FE = {(C_i/C_n)_{amostra}}\Big/{(C_i/C_n)_{referência}}$$

Em que C_i é a concentração do elemento i e C_n a concentração do elemento normalizador, neste caso a percentagem em Alumínio. Os valores de referência assumidos foram os definidos por Salomons & Förstner (1984), nas condições de *Sandstone* para menores percentagens de alumínio e *Shallow Water Sediment* para maiores percentagens de alumínio. A classificação utilizada foi a presente em Moreira (2015) (sem enriquecimento, enriquecimento moderado, significativo, muito elevado e extremamente elevado).

Os dois elementos mais preocupantes são o As e o Zn, apresentando estações com enriquecimento significativo e, no caso do As, 3 estações com enriquecimento muito elevado. Para o Zn, o enriquecimento verifica-se ao longo do rio e, no caso do As, nas várias estações ao longo do sistema desde o rio às zonas mais próximas de atividades industriais como as estações próximas da margem Norte do estuário e no canal da Marateca, assim como próximo da Comporta (dados não apresentados).

A partir do Manual de Avaliação publicado pela OSPAR (2008), a comparação com Critérios de Avaliação Ecotoxicológica (*Ecotoxicological Assessment Criteria*, EAC) permite ter uma ideia dos possíveis efeitos e riscos que as concentrações de metais podem ter no ambiente marinho, em particular ultrapassando o valor mais elevado, o EAC-High, que corresponde ao valor máximo para o qual não se espera efeitos tóxicos. Os elementos que ultrapassam o EAC-High são o As (EAC-High: 10mg/kg; Fig. 6), Cr (EAC-High: 100mg/kg) e Cu (EAC-High: 50mg/kg). As zonas onde tal ocorre situam-se ao longo do rio Sado e no canal da Marateca.

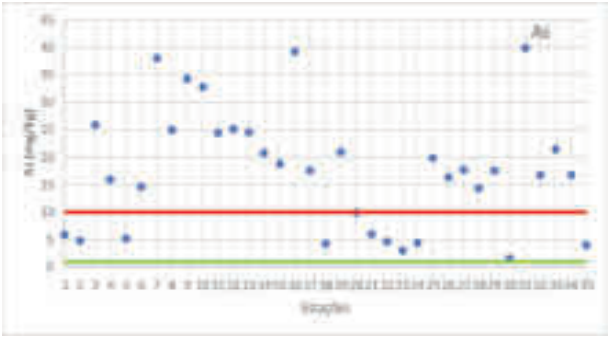


Fig. 6. Comparação das concentrações de arsénio com os valores de EAC Low (1 mg/kg) e High (10 mg/kg).

3. DISCUSSÃO

Relativamente às amostras colhidas em água, o elemento que merece maior atenção é o zinco, uma vez que a média anual registada ultrapassa a NQA definida pela APA (2016). Na análise da contribuição

dos setores de atividade na Região Hidrográfica do Sado e Mira, a Agência Portuguesa do Ambiente lista uma série de fontes e respetivas cargas de cada setor de atividade, sendo que no caso do Zn as mais significativas são as indústrias de papel e ETAR, sendo possível encontrar ambas no estuário do Sado. Outra possível fonte são os pesticidas e inseticidas à base de Zn utilizados nos arrozais, como foi também referido por Caeiro *et al.* (2009).

Quanto aos sedimentos, a maior variedade de análises realizadas permite num maior número de conclusões, sendo necessário balizar objetivos e resultados expectáveis. De um ponto de vista geoquímico, o crómio é o elemento mais preocupante devido à área com concentrações superiores a 100 mg/kg entre as estações 7 e 9-13, assim como a montante da Marateca. Estas estações possuem percentagens altas de sedimentos finos e matéria orgânica, sendo ideais para a adsorção do metal por parte do sedimento. Uma possível fonte poderá ser a linha do comboio próxima da estação 7, mas esta hipótese ainda merece uma análise mais cuidada, enquanto a montante da Marateca a atividade industrial será a fonte mais verosímil. De um ponto de vista mais abrangente, além do Cr o arsénio é um elemento com enriquecimentos muito elevados e possíveis efeitos no ambiente marinho, sendo a sua distribuição ao longo do sistema preocupante. Quando comparadas as concentrações dos metais com os valores de EAC-High definidos pela OSPAR, o As e o Cr são dois dos elementos dos quais se podem esperar possíveis efeitos negativos no ambiente marinho.

REFERÊNCIAS

Agência Portuguesa do Ambiente (2016) Plano de Gestão de Região Hidrográfica: Região Hidrográfica do Sado e Mira (RH6) – Parte 2: Caracterização e Diagnóstico. Disponível em http://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848.

Brito, P. (2009) Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado. Tese de doutoramento, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 344 pp.

Cabrita, M.T. *et al.* (2013) Optimizing alginate beads for the immobilisation of *Phaeodactylum tricornutum* in estuarine waters. *Marine Environmental Research*, 87–88, 37-43.

Cabrita, M.T. *et al.* (2014). Immobilised *Phaeodactylum tricornutum* as biomonitor of trace element availability in the water column during dredging. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (5), 3572-3581.

Caeiro, S. *et al.* (2005) Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, 5, 151–169.

Caeiro, S. *et al.* (2009) Ecological risk assessment of sediment management areas: application to Sado Estuary, Portugal. *Ecotoxicology*, 18, 1165–1175.

Comunidade Europeia (2008) Directiva 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2008, relativa a normas de qualidade ambiental no domínio da política da água. Jornal Oficial da União Europeia, L 348/84, 14 pp.

Cortesão, C. & Vale, C. (1995) Metals in Sediments of the Sado Estuary, Portugal. *Marine Pollution Bulletin*, 30 (I), 34-37.

Diário da República, I Série, N.º 217, Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro. Despacho Conjunto dos Ministérios do Ambiente e Recursos Naturais e do Mar. Portugal.

Freitas, M.C. *et al.* (2008) Anthropogenic influence in the Sado estuary (Portugal): a geochemical approach. *Journal of Iberian Geology*, 34 (2), 271-286.

Järup, L. (2003) Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167–182.

Lillebø, A.I. *et al.* (2011). Assessment of mercury in water, sediments and biota of a southern European estuary (Sado estuary, Portugal). *Water, Air, & Soil Pollution*, 214 (1-4), 667-680.

Mason, R.P. (2013) Trace Metals in Aquatic Systems. Wiley-Blackwell, 431 pp.

Moreira, S. (2015) Contributo da geoquímica e sedimentologia na caracterização de influências antropogénicas em ambientes estuarinos. Tese de doutoramento, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 421 pp.

OSPAR Commission (2008) Co-ordinated Environmental Monitoring Programme-Assessment manual for contaminants in sediments and biota. OSPAR Commission, 39 pp.

Salomons, W. & Förstner, U. (1984) Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, 360 pp.

Quantificação de metais em áreas da Plataforma Continental Portuguesa com potencial aquícola

Rico, M. (1); Santos, R. (1); Santos, T. (1); Palma, C. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. marta.rico@hidrografico.pt.

Resumo: O projeto AQUIMAR surge com objetivo de identificar os locais com maior aptidão para prática da aquicultura na zona costeira Portuguesa, através da recolha de informação técnica e científica de modo a efetuar a caraterização das condições oceanográficas, geoquímicas e biológicas destas zonas. Os metais pesados são reconhecidos como um dos maiores problemas de poluição ambiental em sistemas aquáticos, afetando os seres vivos nestes ambientes. A baixas concentrações, alguns metais são essenciais para atividade enzimática e processos biológicos, enquanto outros não têm papel essencial podendo ser tóxicos mesmo a baixos níveis.
Neste trabalho apresentam-se resultados preliminares de concentração de metais em amostras de águas e sedimentos, e granulometria dos sedimentos, colhidas em cinco e três áreas, respetivamente, da zona costeira de Portugal Continental, em duas campanhas oceanográficas realizadas, em 2018, a bordo de navios hidrográficos. Os resultados obtidos são comparados com dados da literatura e normas de qualidade ambiental.

Palavras-chave: coluna de água, metais pesados, normas de qualidade da água, sedimentos, zona costeira.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Plano Estratégico para a Aquicultura Portuguesa (2014-2020), existem preocupações a nível nacional e da União Europeia em relação ao alto consumo e baixa produção de produtos do mar, tendo-se verificado a necessidade de desenvolver a produção aquícola em Portugal. O projeto AQUIMAR surge para caracterizar áreas aquícolas para estabelecimento de culturas de pescado, através da identificação das condições oceanográficas, físico-químicas, geoquímicas e biológicas da zona costeira portuguesa.

A poluição química marinha tem vindo a ser reconhecida como um sério problema ambiental, tendo os metais pesados merecido especial atenção. Estes aparecem no sistema aquático através de fontes naturais ou antropogénicas, e a sua bioacumulação em organismos marinhos depende de condições ambientais, químicas e físicas da água, e pode atingir concentrações tóxicas resultando em diversos danos. Os metais podem ser transferidos para os seres humanos através da bioacumulação existente na cadeia trófica, podendo causar doenças agudas ou crónicas. Metais como o cobre (Cu), zinco (Zn), crómio (Cr), níquel (Ni), ferro (Fe) e manganês (Mn) são essenciais, em baixas concentrações, para a atividade enzimática e biológica, enquanto outros como o alumínio (Al), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) não aparentam ter um papel essencial, podendo ser tóxicos mesmo a baixos níveis (Diretiva 2008/105/CE; Jaafar, 2011).

A avaliação do estado de contaminação do meio marinho pode ser efetuada através da comparação dos resultados com o DL n.º 218/2015 que altera o DL nº103/2010, onde são estabelecidas as Normas de Qualidade da Água (NQA) para as substâncias prioritárias e "outros poluentes" no domínio da política da água. São ainda definidas, para "outras águas superficiais" (águas de transição, costeiras e territoriais), valores máximos médios anuais (NQA-MA) para proteção contra a exposição a longo prazo e concentrações máximas admissíveis (NQA-CMA), para proteção contra a exposição a curto prazo.
A Convenção OSPAR também estabelece valores de referência que permitem avaliar a qualidade do ambiente marinho. Os relatórios da OSPAR utilizam concentrações de referência designadas como:
Background Concentration – BC – concentração de um componente num ambiente pristino.
Environmental Assessment Criteria – EAC – valor de concentração da substância que não causa efeitos crónicos em espécies marinhas ou no ambiente.
Effects Range-Low – ERL – percentil 10 mais baixo de dados de concentração em sedimentos associados a efeitos biológicos (Tornero *et al*, 2019; OSPAR, 2008).

Os sedimentos marinhos são agregados de minerais, fragmentos orgânicos e outros componentes. Estes são um dos últimos pontos de depósito dos metais libertados no ambiente e desempenham um papel relevante como reservatório de contaminantes, sendo um bom indicador para avaliar a qualidade do ambiente marinho. A fração de finos (< 63 µm) dos sedimentos apresenta uma maior capacidade de adsorver substâncias contaminantes devido à maior percentagem de matéria orgânica e minerais argilosos. Metais como Pb, Hg, Ni, Cr, As, Cd e Zn têm grande afinidade com a fração fina (Jaafar, 2011; Mil-Homens *et al*, 2007; Oliveira *et al*, 2011).

Se o nível de poluição na água for mantido constante, pode existir uma correlação entre concentração de contaminantes e cofatores que estão naturalmente presentes e, idealmente, não são influenciados por ações antropogénicas. Esta normalização permite reduzir a variabilidade entre amostras com diferentes propriedades, através de peneiração e uso do cofator Al. De acordo com guias da OSPAR em termos de normalização, a razão metal/Al é multiplicada por 50 000 mg/kg (concentração típica de Al num sedimento com alta proporção de finos). Isto traduz-se numa concentração de cada elemento que estaria presente numa amostra contendo 5 % de Al (Ices Advice, 2009; Oliveira *et al*, 2011; Mil-Homens *et al*, 2007).

2. METODOLOGIA

2.1. Amostragem

Foram realizadas duas campanhas oceanográficas nos períodos de 30 de setembro a 5 de outubro e 5 a 26 de outubro de 2018 a bordo dos navios oceanográficos NRP Auriga e NRP Almirante Gago Coutinho, respetivamente. Consideraram-se cinco áreas de amostragem tendo como base o Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo (aquicultura potencial), conforme Figura 1, para colheita de águas e sedimentos. Neste trabalho são apresentados resultados das colheitas de águas efetuadas em todas as áreas e de sedimentos nas áreas A, D (a bordo do NRP Almirante Gago Coutinho), e de sedimentos na área E (a bordo do NRP Auriga).



Fig. 1. Mapa da área de estudo com a localização das áreas de amostragem: ***A*** *- Viana do Castelo a Porto;* ***B*** *- Aveiro a Figueira da Foz;* ***C*** *- Peniche;* ***D*** *- Setúbal a Sines;* ***E*** *- Tavira a Sagres.*

As amostras de água foram recolhidas em cinco áreas de amostragem entre Viana do Castelo e Porto (A), entre Aveiro e Figueira da Foz (B), ao largo de Peniche (C), entre Setúbal e Sines (D) e entre Tavira e Sagres (E). A amostragem foi realizada com recurso a garrafas de *NISKIN* acopladas a um sistema de CTD/*Rosette* (OCEAN SEVEN 320Plus WOCE-CTD/General Oceanics). As amostras foram filtradas com filtros de policarbonato (Ø 47 mm) e conservadas com adição de ácido nítrico até pH<2.

As amostras de sedimentos foram colhidas nas áreas A, D e E com uma draga do tipo *Smith-McIntyre* e, após homogeneização, foram acondicionadas em caixas e preservadas a -18 ºC até análise laboratorial.

2.2. Análise laboratorial

Para a análise dos metais Cd, Cu, Pb, Ni e Zn, as amostras de águas foram ajustadas a um pH 6,5 e submetidas a uma pré-concentração através de uma extração em fase sólida. Para a análise do arsénio procedeu-se a uma extração com água régia (ácido nítrico e ácido clorídrico 1:3 V/V) em refluxo numa manta de aquecimento. A quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atómica (EAA) com queimador (Cu, Fe, Zn), com câmara de grafite (Cd, Pb, Ni) ou com gerador de hidretos (As).

Para a quantificação de metais, as amostras de sedimento foram fracionadas com um peneiro de malha 2 mm, homogeneizadas e congeladas a -18 ºC. Foram depois liofilizadas e moídas em moinho de ágata. Posteriormente sofreram digestões com ácido nítrico (Cd, Pb, Ni) ou com água régia e ácido fluorídrico (para os restantes metais) em microondas Ethos Plus. A sua quantificação foi realizada por EAA com chama ou gerador de hidretos para o As.

A análise granulométrica dos sedimentos foi realizada recorrendo à difração laser (fração <500 µm Malvern Mastersizer Hydro 2000) e peneiração com crivos (na fração >500 µm).

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.1. Água

Na Figura 2 estão representados os dados de concentração de metais nas cinco áreas amostradas.

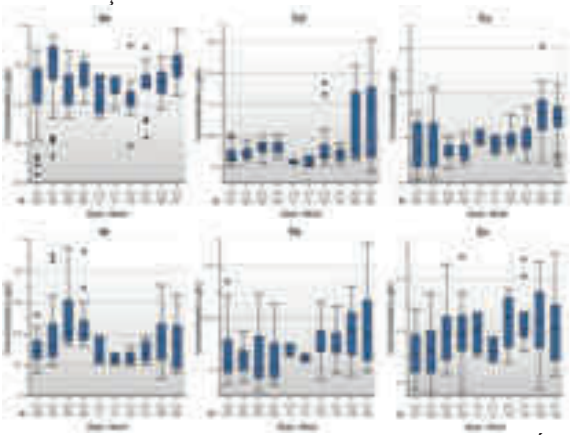


Fig. 2. Concentração de metais nas águas das diversas áreas. ***Área – Nível:*** *área da zona costeira (****A*** *a* ***E****) a um determinado nível de profundidade – superfície (****S****) ou fundo (****F****);* ***N****: núm. de amostras consideradas; (—): mediana; (⊥): mínimo, (⊤): máximo.*

Verifica-se que os padrões de variação dos valores medianos de metais não apresentam diferenças significativas entre o fundo e a superfície. Em relação à distribuição dos metais pela zona costeira, observa-se que a área E tem as medianas de Cu e Pb mais altas, enquanto que a área B tem os valores medianos de Cd e Ni superiores. No entanto o Cd na área E destaca-se pelos valores máximos. Tanto a área E como D, têm medianas do teor de Zn semelhantes e superiores às restantes áreas. Os valores de As não apresentam variações significativas entre as áreas.

Na Tabela I, apresentam-se resultados de metais, em termos de média e mínimo-máximo. Considerando os EAC definidos pelo guia da OSPAR (OSPAR, 2008), verifica-se que as médias se encontram abaixo dos limites superiores para todos os metais exceto o Cu. Quanto aos valores máximos das amostras colhidas, além do Cu, também o Cd fica acima deste limite. Com base no DL n.º 218/2015, pode-se comparar os valores de NQA estabelecidos com as médias e máximos de concentração dos resultados obtidos, verificando-se que todos os valores estão abaixo dos limites NQA-MA e NQA-CMA.

Tabela I. Valores de referência para águas e resultados obtidos. ***x̄****: média;* ***m****: mínimo;* ***M****: máximo;* ***(p)*** *valores provisórios;* ***(a)*** *Diretiva 2008/105/CE.* ***(b)*** *Dureza da água classe 5.*

	EAC (µg L^{-1})	NQA-MA (µg L^{-1})	NQA-CMA (µg L^{-1})	x̄ (m – M)
As	1 – 10	20[(a)]	—	1,44 (≤ 1,00 – 1,96)
Cd	0,01 – 0,1	0,2	1,5[(b)]	≤ 0,05 (≤ 0,05 – 0,20)
Cu	0,005 – 0,05	—	—	1,01 (≤ 1,00 – 3,05)
Ni	0,1 – 1 [(p)]	8,6	34	0,36 (0,11 – 0,95)
Pb	0,5 – 5	1,3	14	0,08 (≤ 0,05 – 0,49)
Zn	0,5 – 5	—	—	1,81 (≤ 1,00 – 5,01)

3.2. Sedimentos

Na Figura 3, apresenta-se a percentagem de finos (fração silto-argilosa, < 63 µm) para cada amostra.

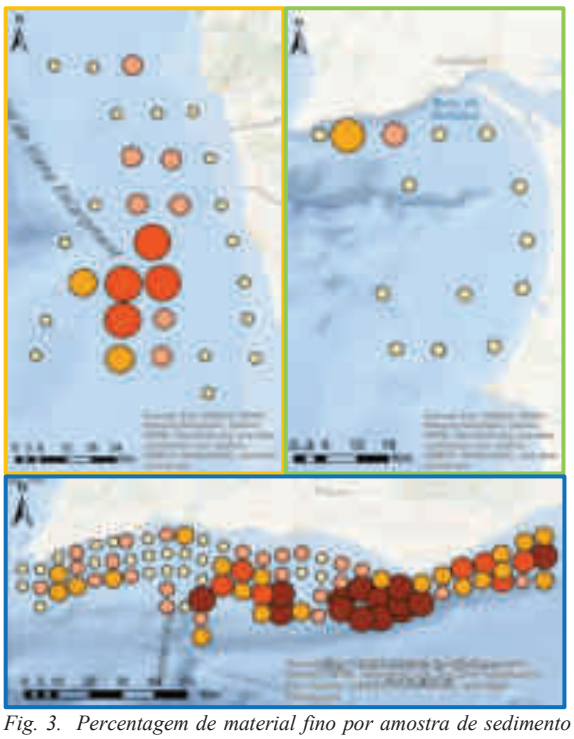


Fig. 3. Percentagem de material fino por amostra de sedimento nas diversas áreas. ***Amarelo:*** *área A;* ***Verde:*** *área D;* ***Azul:*** *área E.* ***Finos (%)*** *0 - 20 21 - 40 41 - 60 61 - 80 81 - 100*

É na área E que se observa as maiores percentagens desta fração fina, como se pode verificar na Figura 3 através dos círculos a laranja e castanho (> 61 % finos). A área D é a que apresenta uma menor percentagem de finos (visíveis na Figura 3 nos círculos laranja). Estes resultados são discutidos de uma forma mais abrangente no trabalho Santos *et al*, 2020, apresentado nestas jornadas.

Na figura 4, agruparam-se os valores de cada metal por área, identificando-se medianas, mínimos e máximos das concentrações. Valores de Cd estavam todos ao nível do limite de quantificação do método.

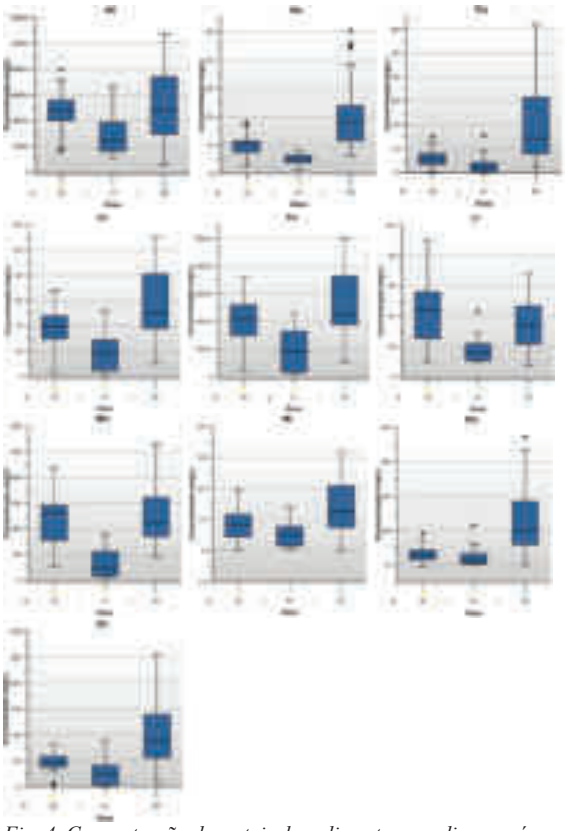


Fig. 4. Concentração de metais de sedimentos nas diversas áreas; ***N****: núm. de amostras consideradas;* ***(—)****: mediana;* ***(⊥)****: mínimo,* ***(⊤)****: máximo.*

A área E é a que apresenta uma maior concentração nos diversos metais, assim como uma maior variabilidade, o que está de acordo com a maior percentagem de finos e a própria variabilidade nesta área. A área D é a que apresenta valores mais baixos, assim como sedimentos um pouco mais grosseiros que os restantes.

Tabela II. Comparação de resultados de sedimentos com valores de referência BC, normalização a 5 % de Al (OSPAR, 2014). ***x̄*** *- média;* ***m*** *– mínimo;* ***M*** *– máximo.*

	A x̄ (m – M)	D x̄ (m – M)	E x̄ (m – M)	BC
As	16,6 (7,9 – 63,7)	12,9 (5,8 – 33,2)	49,3 (10,2 – 384,6)	**15**
Cr	51,5 (≤ LQ – 101,6)	37,4 (≤ LQ – 68,4)	90,6 (46,0 – 537,6)	**60**
Cu	7,7 (≤ LQ – 16,3)	6,2 (≤ LQ – 15,5)	25,4 (≤ LQ – 98,5)	**20**
Ni	10,7 (≤ LQ – 24,4)	10,6 (≤ LQ – 20,6)	18,9 (≤ LQ – 114,8)	**30**
Pb	9,3 (≤ LQ – 20,7)	8,5 (≤ LQ – 22,6)	38,6 (≤ LQ – 138,0)	**25**
Zn	60,3 (11,9 – 110,5)	45,6 (≤ LQ – 88,6)	141,6 (57,2 – 762,4)	**90**

Na Tabela II, apresentam-se médias, mínimos e máximos dos resultados e valores de referência BC definidos pela OSPAR, normalizados a 5 % de Al (OSPAR, 2008). As médias nas áreas A e D estão abaixo do limite BC, exceto o As na área A, que apesar de estar acima, está na mesma ordem de grandeza. Por sua vez, os máximos ultrapassam os valores de BC na área A para o As, Cr e Zn e na área D para o As e Cr. Na área E, os valores médios e

máximos estão acima dos valores de referência, exceto o valor médio para o Ni.

Na Tabela III estão representadas as médias, máximos e mínimos obtidos em cada área para cada metal, juntamente com valores de referência EAC e ERL. As três colunas finais, apresentam resultados obtidos em outros estudos. Verifica-se que os valores médios se encontram nos intervalos dos critérios dos EAC e ERL, exceto o As na área E face ao EAC.

*Tabela III. Comparação de resultados de sedimentos com valores de referência EAC e ERL e de outros estudos ([1]OSPAR, 2008; [2]OSPAR, 2014; [3]Palma, 2014; [4]Oliveira et al, 2011; [5]Qian et al, 2015). $\bar{x}$: média; **m**: mínimo; **M**: máximo.*

Área	A $\bar{x}$ (m – M)	D $\bar{x}$ (m – M)	E $\bar{x}$ (m – M)	EAC [1]	ERL [2]	Crista da Terceira [3]	Canhão da Nazaré [4]	Golfo de Cádis [5] $\bar{x}$ (m – M)
Al (%)	3,5 (1,2 – 6,0)	2,3 (0,8 – 5,0)	3,8 (0,5 – 8,0)			9	6,7	
As (mg/kg)	10,0 (2,6 – 18,0)	5,1 (1,3 – 8,4)	20,1 (6,0 – 50,4)	**1 – 10**		3	10	9,3 (5,1 – 13,7)
Cr (mg/kg)	37,4 (≤ 5,0 – 67,5)	19,7 (≤ 5,0 – 52,0)	55,6 (10,5 – 110,3)	**10 – 100**	**81**	16	58	87,3 (39,7 – 283,9)
Cu (mg/kg)	5,8 (≤ 5,0 – 15,0)	3,7 (≤ 5,0 – 15,6)	21,1 (≤ 5,0 – 62,1)	**5 – 50**	**34**	23	15,8	53,4 (13,2 – 92,4)
Fe (%)	2,0 (0,2 – 3,6)	1,0 (0,1 – 2,3)	2,6 (0,5 – 5,0)			6	2,6	2,8 (0,1 – 4,0)
Li (mg/kg)	42,1 (10,1 – 89,8)	18,0 (9,9 – 43,4)	34,9 (7,5 – 68,6)			10	22	
Mn (mg/kg)	231,3 (51,4 – 438,7)	72,1 (11,5 – 181,8)	237,7 (91,2 – 530,0)			1200	324	293 (79 – 452)
Ni (mg/kg)	8,15 (≤ 7,5 – 19,9)	5,2 (≤ 7,5 – 14,1)	13,8 (≤ 7,5 – 31,9)	**5 – 50**		15	17	29,4 (1,2 – 43,8)
Pb (mg/kg)	6,7 (≤ 10,0 – 18,2)	5,2 (≤ 10,0 – 22,7)	25,8 (≤ 10,0 – 74,4)	**5 – 50**	**47**	7	20	45 (6,9 – 84,6)
Zn (mg/kg)	44,6 (3,2 – 82,2)	26,0 (≤ 2,0 – 88,8)	101,5 (8,6 – 255,4)	**50 – 500**	**150**	87	84	118 (19 – 188)

Comparando com os resultados de outros estudos, verifica-se que os valores médios obtidos neste estudo são da mesma ordem de grandeza dos obtidos junto à crista da Terceira, na área do canhão da Nazaré, assim como no golfo de Cádiz. As maiores diferenças, nomeadamente para os metais Al, Fe e Mn verificados na área da Terceira, estão associados às diferentes caraterísticas do próprio sedimento. De referir valores máximos mais elevados dos metais As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn na área E e Li na área A.

4. CONCLUSÃO

Verifica-se que sedimentos com maior percentagem de finos apresentam maiores concentrações dos metais pesquisados. Comparado com os critérios estabelecidos nos documentos guia da OSPAR, verifica-se que os resultados obtidos estão dentro dos valores das concentrações de referência, não havendo valores indicativos de locais com poluição.

Os resultados apresentados baseiam-se nas campanhas que decorreram em 2018, estando em curso as análises de amostras colhidas em 2019 e 2020.

Agradecimentos

Projeto MAR2020 nº MAR-02.01.01-FEAMP-0107 Marta Rico e Rita Santos receberam Bolsas de Investigação no âmbito do projeto AQUIMAR (programa MAR2020). Co-financiado por:

REFERÊNCIAS

Decreto-Lei nº 218/2015 (2015). *Diário da República*, 1.ª série, 196, 8667-8685.

Diretiva 2008/105/CE (2008). *Jornal Oficial da União Europeia*, 348, 84-97.

Ices Advice (2009). Book 1 - Introduction, Overviews and Special Requests, Report of the ICES Advisory Committee, *International Council for the Exploration of the Sea*, 63-77.

Jaafar, N.B. (2011*) Impact of Aquaculture on Water Quality and Heavy Metals in the Water and Sediment of Selang Sibu River*. Faculty of Resource Science and Technology, University Malaysia Sarawak, 1-14.

Mil- Homens, M., Stevens, R.L., Cato, I., e Abrantes, F. (2007). Regional geochemical baselines for Portuguese shelf sediments. *Environmental Pollution Metals Pollution*, 148, 418-427.

Oliveira, A., Palma, C., e Valença, M. (2011). Heavy metal distribution in surface sediments from the continental shelf adjacent to Nazaré canyon. *Deep-Sea Research II*, 58, 2420-2432.

OSPAR Commission (2008). 2007/2008 CEMP Assessment - Trends and concentrations of selected hazardous substances in the marine environment. *OSPAR Commission 378/2008*, 7-16.

OSPAR Commission (2014). Levels and trends in marine contaminants and their biological effects - CEMP Assessment Report 2013. *OSPAR Commission 631/2014*, 20-21.

Palma, C. (2014). Metais em águas e sedimentos da Plataforma dos Açores. Tese de doutoramento, *Universidade de Aveiro*, 224-225.

Qian, Y., Zhang, W., Yu, L., e Feng, H. (2015). Metal Pollution in Coastal Sediments. *Current Pollution* Reports, 1, 203-219.

Santos, R., Oliveira, A., Pombo, J., e Rodrigues, A. (2020). The space variability of sedimentary cover of the Portuguese continental shelf: contribution to the AQUIMAR Project. *6as Jornadas de Engenharia Hidrográfica.*

Tornero, V., Hanke, G., e MSFD Expert Network on Contaminants (2019). Marine chemical contaminants – support to the harmonization of MSFD D8 methodological standards: Matrices and threshold values/reference levels for relevant substances. *Join Research Centre, Publications Office of the European Union*, 8-75.

Monitorização química de sistemas marinhos - Avaliação do impacto da amostragem na incerteza de resultados por simulação de Monte Carlo de dados georreferenciados

Borges, C. (1); Palma, C. (1); Silva, R. J. N. B. (2)

(1) IH – Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, Lisboa, Portugal. carlosborges@hidrografico.pt.

(2) CQE@FCUL – Centro de Química Estrutural, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Resumo: A monitorização do meio ambiente é fundamental na gestão das políticas de proteção ambiental. No entanto, a avaliação dos resultados desta monitorização é afetada pela incerteza analítica e da amostragem, tendo esta ultima um maior contributo, geralmente indeterminado. Acresce ainda que, para o meio marinho, as estratégias de amostragem existentes nem sempre são as mais adequadas devido principalmente à dinâmica do sistema e ao erro de posicionamento. Neste estudo modela-se, quantifica-se e otimiza-se a incerteza de amostragem de ambientes marinhos usando Simulações de Monte Carlo, considerando a incerteza analítica e de posicionamento. Foram simuladas três estratégias de amostragem utilizando uma folha de cálculo de Excel desenvolvida para este fim, considerando dados de fosfato de amostras colhidas na plataforma continental portuguesa no âmbito do Projeto AQUIMAR. Os resultados reunidos indicam que a incerteza de amostragem pode contribuir com 25% a 70% da incerteza total em função da heterogeneidade do sistema estudado.

Palavras-chave: incerteza da amostragem, nutrientes, simulações de Monte Carlo, sistemas marinhos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as estratégias para avaliar a incerteza associada à amostragem, implicam, na sua generalidade, a colheita repetida de amostras que são analisadas em replicado (EURACHEM, 2007); isto é, a colheita de amostras em replicado em todos os trabalhos de monitorização/investigação, com os respetivos custos inerentes à replicação de amostras a serem também refletidos na componente analítica. A aplicabilidade destas estratégias baseia-se na premissa de que se tem, associada à incerteza da medição, uma função de distribuição dita "bem-comportada", como as distribuições normal (ou Gaussiana) ou log-normal. Nos casos em que não se consegue assegurar que tal hipótese é observada (como, por exemplo, no caso de sistemas extremamente complexos), outras estratégias deverão ser aplicadas.

Estas estratégias recorrem a abordagens de modelação espacial, quer discreta quer contínua, para produzir diagramas de distribuição (quer na forma de mapas de interpolação quer na forma de histogramas de frequência) da concentração do(s) parâmetro(s) no sistema em estudo. São exemplos destas abordagens de modelação a Análise de Variâncias (Ramsey, 1998) o "*Inverse Distance Weighting*" (Qu *et al.*, 2018; de Mesnard, 2013; Young *et al.*, 2016), o "*Kriging Interpolation*" (de Mesnard, 2013; Young *et al.*, 2016. Ha *et al.*, 2014) ou o Método de Monte Carlo (MCM) desenvolvido neste trabalho.

No caso do meio aquático, as estimativas da incerteza de amostragem que têm sido desenvolvidas recorrem aos modelos tradicionais e são aplicadas, geralmente, a sistemas de águas doces e de pequena ou média dimensão (p.e., Botta *et al.*, 2012; Behmel *et al.*, 2016 e refs. nele incluídas). No caso do meio marinho, este apresenta uma complexidade adicional devido à sua maior heterogeneidade natural, para além de os modelos tradicionais não considerarem a influência de um fator adicional, que é o erro associado ao posicionamento. Assim, considera-se, que tais estimativas subestimam a complexidade associada a estes sistemas.

Recentemente, foi desenvolvida uma ferramenta implementada numa folha Excel (Borges *et al.*, 2019; Borges *et al.*, 2021) que permite a modelação da incerteza da amostragem recorrendo ao Método de Monte Carlo (MCM), por uma abordagem do problema que pode ser sintetizada em quatro passos:

- colheita de amostras a uma profundidade definida e em coordenadas GPS conhecidas;
- descrição da informação obtida numa superfície 3D (x, y, z), sendo x e y as coordenadas GPS e z a concentração do parâmetro em estudo;
- aleatorização da superfície 3D considerando os erros das coordenadas GPS e a precisão analítica associada à concentração medida;
- simulação de diferentes tipos de estratégias de amostragem.

O estudo aqui apresentado modela e otimiza a incerteza de amostragem no meio marinho, aplicada ao caso particular do parâmetro fosfato (PO_4).

A referida ferramenta foi desenvolvida especificamente para o meio marinho mas pode ser aplicada a outros sistemas complexos em que o posicionamento

seja fator de incerteza. A ferramenta, bem como uma explicação detalhada da mesma, pode ser consultada em Borges *et al.* (2019).

2. MÉTODOS

2.1. Colheita

As amostras foram colhidas na plataforma continental portuguesa durante o cruzeiro IHPT-AQUIMAR2018-2 a bordo do navio "NRP Alm. Gago Coutinho" no âmbito dos trabalhos do Projeto AQUIMAR (Caraterização geral de áreas AQUIcolas para estabelecimento de culturas MARinhas/*Marine Knowledge supporting Aquaculture*). Para o propósito específico deste estudo, foram colhidas 20 amostras de água à profundidade selecionada de 25 m:

- 9 amostras colhidas numa grelha de 10 x 10 milhas náuticas, designado por círculo de amostragem de larga escala (*Figura 1*);
- 11 num círculo de 1 m de diâmetro, designado por círculo de amostragem de pequena escala *(Figura 1, B13*).

Após colheita, as amostras foram filtradas usando filtros inertes de tamanho de poro de 0,45 µm e preservadas por congelação a temperatura inferior a -18ºC até à análise.

2.2. Análise

A determinação da concentração de fosfato (PO_4) nas amostras foi efetuada por espectroscopia UV/vis utilizando o método colorimétrico específico desenvolvido por Murphy e Riley (1962), implementado num Analisador de Fluxo Segmentado Skalar SANplus especialmente projetado para a análise de águas salinas.

Na Tabela I encontra-se compilada a informação referente ao desempenho analítico do método de determinação do PO_4, sendo indicadas as diferentes contribuições para a incerteza analítica total, *U*. Esta é calculada, para um grau de confiança de aproximadamente 95% e fator de expansão $k = 2$, de acordo com a equação (1) ou equação (2), conforme a mesma seja dada na sua forma absoluta ou relativa, respetivamente.

$$U = \sqrt{s_r^2 + s_I^2 + u_T^2} \quad (1)$$

$$U' = \sqrt{s'^2_r + s'^2_I + u'^2_T} \quad (2)$$

2.3. Modelação

Assumindo que os valores do parâmetro estudado (PO_4) no círculo de amostragem apresentam uma distribuição normal, a sua dispersão pode ser quantificada pelo desvio padrão de *n* valores medidos ou estimados por modelação, s_S, que possui uma componente relativa à variabilidade intrínseca do parâmetro nas amostras, s_V, e à repetibilidade da medição, s_r (proveniente da componente analítica) (Equação (3)):



Fig. 1. Posicionamento das estações de colheita no círculo de amostragem de larga escala. A estação B13, também identificada como "Ground" indica a origem do referencial usado para a simulação de Monte Carlo e também o círculo de amostragem de pequena escala.

Tabela I. Desempenho analítico do método de determinação do PO_4.

Intervalo (µmol L^{-1})	Repetibilidade	Precisão intermédia	Veracidade	Incerteza Analítica Expandida
1: [0,067 a 0,400]	s_r = 0,0088 µmol L^{-1}	s_I = 0,0285 µmol L^{-1}	u_T =0,0130 µmol L^{-1}	U_A = 0,065 µmol L^{-1}
2: [≥0,400]	s'_r = 0,52 %	s'_I = 2,35	u'_T = 3,21 %	U'_A = 8.0 %

s_r e s'_r - desvio padrão de repetibilidade, absoluto e relativo, respetivamente
s_I e s'_I - desvio padrão de precisão intermédia, absoluto e relativo, respetivamente
u_T e u'_T – incerteza padrão de veracidade, absoluta e relativa, respetivamente
U_A e U'_A – incerteza analítica expandida, absoluta e relativa, respetivamente, para um grau de confiança de aproximadamente 95% e fator de expansão $k = 2$.

$$s_V = \sqrt{s_S^2 - s_r^2} \quad (3)$$

Foram simulados três tipos de estratégias de amostragem, aplicados aos dois ciclos de amostragem indicados em 2.1:

- *Single Sampling*, (SS), em que s_V é dado pela equação (3);
- *Random composite Sampling*, (RS), que envolve a colheita de m subamostras em posições selecionadas aleatoriamente no círculo de amostragem e a sua mistura para produzir uma amostra composta. A incerteza padrão, $s_V(RS;m)$ é calculada pela equação (4):

$$s_V(RS;m) = s_V(SS)/\sqrt{m} \quad (4)$$

- *Linear composite Sampling*, (LS), que envolve a colheita de m subamostras ao longo de uma linha radial com a primeira amostra situada no centro do círculo de amostragem e as restantes (m - 1) subamostras situadas a intervalos de d metros entre si, para produzir uma amostra composta. Neste caso, a estimativa do valor de concentração é dada, para cada linha radial, pela média, $\bar{z}_h(m;d)$ das m estimativas independentes de z_h, e o desvio padrão da média, $s_{\bar{z}}(m;d)$, pode ser usado para estimar a incerteza padrão da amostragem composta linear, $s_S(LS)$, de acordo com a equação (5).

$$s_S(LS;m;d) = \sqrt{s_{\bar{z}}^2(m;d) + \frac{s_r^2}{m}} \quad (5)$$

A incerteza padrão da medição para as diferentes estratégias e diferentes círculos de amostragem é estimada por combinação das diferentes componentes da incerteza, que é dada pela equação (6) na sua forma absoluta e pela equação (7) na sua forma relativa.

$$u = \sqrt{s_V^2 + s_r^2 + s_I^2 + u_T^2} \quad (6)$$

$$u' = \sqrt{s'^2_V + s'^2_r + s'^2_I + u'^2_T} \quad (7)$$

em que s_V corresponde à incerteza padrão da variabilidade de composição do sistema, s_r e s_I os desvios padrão de repetibilidade e de precisão intermédia de medição, respetivamente, e u_T à incerteza padrão de veracidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analiticos de PO_4, situam-se no Intervalo 1 da gama de trabalho (0,0827 a 0,2855 µmol L^{-1} para Pequena Escala e 0,1374 a 0,3279 µmol L^{-1} para Larga Escala). A partir dos resultados analiticos e por aplicação das diferentes estratégias de amostragem obtiveram-se os resultados constantes da Tabela II para os dois círculos de amostragem definidos.

Verifica-se que:

- Para o mesmo tipo de estratégia de amostragem, a incerteza associada ao circulo de amostragem de pequena escala é menor que a associada ao de larga escala;
- Para o círculo de amostragem de pequena escala não existem diferenças significativas entre as estratégias de amostragem LS e RS;
- Para o círculo de amostragem de larga escala a estratégia RS conduz a menores incertezas que a estratégia LS;
- Verifica-se ainda que a colheita de amostras em duplicado pela estratégia RS permite uma redução significativa da incerteza de amostragem quando comparada com a estratégia SS.

Estes resultados são consequência da maior heterogeneidade – natural – do círculo de larga escala e permitem concluir que a estratégia LS não deve ser aplicada para estimar a composição média de sistemas heterogéneos.

Tabela II. Concentração média de fosfato simuladas para os círculos de amostragem de larga e pequena escala, e valores de componentes de incertezas e incerteza combinada expandidas considerando diferentes estratégias de amostragem.

Larga Escala							
Amostragem	Média §	s'_S(%) §	s'_r (%)	s'_V (%) §	s'_I (%)	u'_T (%)	U'(%)
SS	0,186	18,05	4,75	17,41	7,13	3,21	39,3
RS(2)	-	13,20	4,75	12,31	7,13	3,21	30,7
RS(3)	-	11,12	4,75	10,05	7,13	3,21	27,2
RS(4)	-	9,92	4,75	8,71	7,13	3,21	25,3
RS(5)	-	9,12	4,75	7,79	7,13	3,21	24,0
RS(6)	-	8,55	4,75	7,11	7,13	3,21	23,2
RS(7)	-	8,12	4,75	6,58	7,13	3,21	22,5
LS(2; 8000)	0,184	9,45	4,78	8,15	7,13	3,21	24,5
LS(3; 4000)	0,181	9,40	4,88	8,03	7,13	3,21	24,4
LS(4; 2667)	0,180	8,89	4,89	7,42	7,13	3,21	23,7
LS(5; 2000)	0,181	9,26	4,86	7,88	7,13	3,21	24,2
LS(6; 1600)	0,180	9,04	4,89	7,6	7,13	3,21	23,9
LS(7; 1333)	0,180	9,01	4,9	7,56	7,13	3,21	23,9

Pequena Escala							
Amostragem	Média §	s'_S (%) §	s'_r (%)	s'_V (%) §	s'_I (%)	u'_T (%)	U' (%)
SS	0,123	13,95	7,17	11,97	7,13	3,21	32,0
RS(2)	-	11,09	7,17	8,46	7,13	3,21	27,1
RS(3)	-	9,96	7,17	6,91	7,13	3,21	25,3
RS(4)	-	9,34	7,17	5,99	7,13	3,21	24,4
RS(5)	-	8,95	7,17	5,35	7,13	3,21	23,8
RS(6)	-	8,68	7,17	4,89	7,13	3,21	23,4
RS(7)	-	8,48	7,17	4,52	7,13	3,21	23,1
LS(2; 0,50)	0,123	11,11	7,16	8,5	7,13	3,21	27,2
LS(3; 0,33)	0,123	9,94	7,15	6,9	7,13	3,21	25,3
LS(4; 0,25)	0,123	9,35	7,16	6,02	7,13	3,21	24,4
LS(5; 0,20)	0,123	9,01	7,15	5,49	7,13	3,21	23,9
LS(6; 0,17)	0,123	8,69	7,16	4,92	7,13	3,21	23,4
LS(7; 0,14)	0,123	8,51	7,15	4,61	7,13	3,21	23,1

(§ - Valor obtido pelo Método de Monte Carlo; SS – "Single Sampling"; RS(m) – "Random composite Sampling" a partir de m subamostras; LS(m; d) – "Linear composite Sampling" a partir de m subamostras posicionadas linearmente a d metros

s'_S - desvio padrão relativo de amostragem; s'_r - desvio padrão relativo de repetibilidade; s'_I - desvio padrão relativo de precisão intermédia

u'_T – incerteza padrão relativa de veracidade; s'_V - desvio padrão relativo de variabilidade (amostragem - analítico)

U' – incerteza relativa expandida, total, para um grau de confiança de aproximadamente 95% e fator de expansão k = 2.

Decompondo a informação obtida nas suas componentes analítica e de amostragem, conforme é apresentada na Tabela III para alguns casos selecionados, pode-se verificar que a incerteza de amostragem é responsável, no caso particular do fosfato, por 25 % a 55 % da incerteza total em sistemas homogéneos e 45 % a 70 % em sistemas heterogéneos.

Tabela III. Razão entre incertezas padrão relativas de amostragem (u'_S) e analítica (u'_A) para casos selecionados de estratégias de amostragem do fosfato aplicados aos círculos de amostragem de larga e pequena escala.

Larga Escala						Pequena Escala					
Amostragem	Média §	$u'_S(\%)$ §	$u'_A(\%)$	u'_S/u'_A	$u'_S//u'$ (%)	Amostragem	Média §	$u'_S(\%)$ §	$u'_A(\%)$	u'_S/u'_A	$u'_S//u'$ (%)
SS	0,186	17,41	9,15	1,9	70	SS	0,123	11,97	10,61	1,1	55
RS(2)	-	12,31	9,15	1,3	60	RS(2)	-	8,46	10,61	0,8	40
RS(5)	-	7,79	9,15	0,9	45	RS(5)	-	5,35	10,61	0,5	25
LS(2; 8000)	0,184	8,15	9,16	0,9	45	LS(2; 0,50)	0,123	8,50	10,60	0,8	40
LS(5; 2000)	0,181	7,88	9,21	0,9	45	LS(5; 0,20)	0,123	5,49	10,60	0,5	25

$u'_S//u'$ – contribuição percentual da incerteza padrão de amostragem para a incerteza padrão total; valores aproximados à meia dezena mais próxima.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a estratégia de amostragem LS não deve ser aplicada a sistemas heterogéneos.

Além disto, a incerteza de amostragem é responsável, no caso particular do parâmetro fosfato, por 25 % a 55 % da incerteza total da medição da concentração média em sistemas homogéneos e 45 % a 70 % em sistemas heterogéneos.

Em conclusão, os resultados obtidos permitem distinguir a diferença da incerteza da caracterização de sistemas heterogéneos e homogéneos e concluir que a incerteza de amostragem é uma contribuição importante da incerteza total, que pode ser minimizada por aplicação de uma estratégia de amostragem adequada.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do Programa Operacional Mar 2020, Projeto AQUIMAR. (MAR-02-01-01-FEAMP-0107). R.J.N Bettencourt da Silva foi também financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através dos projetos UIDB/00100/2020 e UIDP/00100/2020.

Os autores agradecem também à equipa técnica do IH e tripulação do NRP "Alm. Gago Coutinho", pois sem o seu empenho e espírito de missão, este trabalho não seria possível.

REFERÊNCIAS

Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., Rodriguez, M.J. (2016). Water quality monitoring strategies — A review and future perspectives, *Science of the Total Environment*, 571, 1312-1329.

Borges, C., Palma, C., Bettencourt da Silva, R.J.N., (2019) Optimization of river sampling: application to nutrients distribution in Tagus river estuary, *Analytical Chemistry*, 91, 5698-5705.

Borges, C., Palma, C., Dadamos, T., Bettencourt da Silva, R.J.N. (2021) Evaluation of seawater composition in a vast area from the Monte Carlo Simulation of georeferenced information in a Bayesian framework, *Chemosphere,* 263, 128036.

Botta, F., Lepot, B., Leoz-Garziandia, E., Morin, A. (2012). Estimation of sampling uncertainty in lake-water monitoring in a collaborative field trial, *Trends in Analytical Chemistry, 36*, 176-184.

de Mesnard, L, (2013). Pollution models and inverse distance weighting: Some critical remarks, *Computers & Geosciences, 52*, 459–469.

Eurachem, (2007). Eurachem/EUROLAB/CITAC/ Nordtest/AMC Guide: Measurement uncertainty arising from sampling: a guide to methods and approaches, M.H. Ramsey, S.L.R. Ellison, Eds.

Ha, H., Olson, J.R., Bian, L., Rogerson, P.A. (2014). Analysis of Heavy Metal Sources in Soil Using Kriging Interpolation on Principal Components *Environmental Science & Technology,* 48, 4999−5007.

Murphy, J., Riley, J.P. (1962) A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters, *Analytica Chimica Acta,* 27, 31-36.

Qu, R., Xiao, K., Hu, J., Liang, S., Hou, H., Liu, B., Chen, F., Xu, Q., Wu, X., Yang, J. (2018). Predicting the hormesis and toxicological interaction of mixtures by an improved inverse distance weighted interpolation, *Environment International,* 130, 104892.

Ramsey, M.H. (1998). Sampling as a source of measurement uncertainty: techniques for quantification and comparison with analytical sources, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 13, 97-104

Young, M.T., Bechle, M.J., Sampson, P.D., Szpiro, A.A., Marshall, J.D., Sheppard, L., Kaufman, J.D. (2016). Satellite-Based NO_2 and Model Validation in a National Prediction Model Based on Universal Kriging and Land-Use Regression, *Environmental Science & Technology,* 50, 3686−3694.

Abordagem alternativa de comparação de razões de diagnóstico para a identificação da origem de derrames de produtos petrolíferos

Rocha, A. C. (1); Palma, C. (1); Silva, R. J. N. B. (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. catarina.rocha@hidrografico.pt.

(2) Centro de Química Estrutural, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa Edifício C8, 1749-016 Lisboa, Portugal.

Resumo: As análises químicas efetuadas a amostras colhidas em ilícitos de poluição por produtos petrolíferos mostram ser um elemento prova de peso na imputação de responsabilidade.
Estas análises recorrem à técnica Cromatografia Gasosa-Espetrometria de Massa capaz de caracterizar detalhadamente os produtos petrolíferos. Estes, quando processados estatisticamente, conduzem a um elevado nível de fundamentação e fiabilidade na correlação entre amostras.
Uma das avaliações efetuadas é a comparação de razões de abundâncias entre componentes químicos. Atualmente, emprega-se o teste t-Student nesta avaliação, recorrendo a uma precisão estimada pela análise de uma amostra em triplicado em cada processo de ilícito. No entanto, este teste assume o pressuposto, nem sempre válido, da normalidade das razões de abundâncias.
Este trabalho apresenta uma abordagem de avaliação alternativa, capaz de processar razões de abundância com desvios complexos à normalidade, baseada na simulação Monte Carlo após determinação experimental da precisão e correlação das abundâncias combinadas nas razões.

Palavras-chave: análise estatística, cromatografia gasosa-espetrometria de massa, derrames, método de Monte Carlo, produtos petrolíferos.

1. INTRODUÇÃO

Um dos meios de prova com bastante peso na resolução de ilícitos de poluição do meio marinho por produtos petrolíferos (crudes e derivados refinados) são as análises químicas efetuadas a amostras colhidas quer no local afetado pela poluição, quer nas fontes que se considerem ser a origem possível do incidente. A identificação da origem do derrame baseia-se na comparação da proporção composicional dos produtos petrolíferos patentes nas amostras. Esta comparação somente é possível dado que os crudes, apesar de pouco diferirem na sua composição geral, apresentam teores relativos dos seus componentes químicos como fator diferenciador entre as diferentes ramas (impressão digital do produto).

As metodologias de análise aplicáveis, embora simples em termos de preparação das amostras, pressupõem a utilização da técnica de Cromatografia Gasosa-Espetrometria de Massa (GC-MS) que é capaz de fornecer uma caracterização aprofundada da composição química dos produtos petrolíferos (CEN, 2012; Rocha, 2014). Aliada a esta técnica instrumental, são efetuados inúmeros processamentos aos dados analíticos com o intuito de maximizar a caracterização de cada amostra para melhor fundamentar o nível de correlação entre composições químicas de duas amostras quando comparadas. Um desses processamentos é a determinação de rácios entre abundâncias de compostos químicos, comumente designados de razões de diagnóstico (RD). Por forma a averiguar se as RD determinadas para cada amostra são significativamente diferentes, estas são comparadas recorrendo a critérios calculados com base no teste t-Student, para determinado nível de confiança, considerando a dispersão das RD determinadas experimentalmente em ensaios triplicado. Este tipo de abordagem estatística assume a normalidade da distribuição de probabilidade das RD. Tendo em conta que a distribuição normal é simétrica, considera-se que é igualmente provável observar diferenças positivas ou negativas entre as RD comparadas.

Caso a RD tenha uma distribuição assimétrica, as diferenças positivas ou negativas entre o valor médio de uma RD e uma outra determinação da mesma RD terão probabilidades diferentes (i.e. a média não está associada a uma probabilidade cumulativa igual a 50%). Desta forma, se as distribuições das RD forem na realidade assimétricas, a comparação de RD com recurso a critérios determinados com base na assunção da normalidade pode levar a avaliações erróneas sobre a equivalência ou diferença entre RD.

Até à data não foram identificados estudos de avaliação da normalidade das distribuições das RD. No entanto, estudos noutras áreas químicas e do sector financeiro e dos seguros descrevem desvios à normalidade da distribuição de rácios (McLeay e Omar, 2000; Van der Heijden, 2011; Bettencourt da Silva, 2016).

Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta que permite uma avaliação alternativa e estatisticamente mais sólida da concordância de RD

de amostras analisadas em incidentes de poluição. Esta alternativa consiste na simulação computacional das distribuições de probabilidades das RD de sinais cromatográficos recorrendo ao método de Monte Carlo (MCM). Esta modelação pode recorrer a um conhecimento *a priori* ou determinado caso-a-caso da dispersão e correlação dos sinais cromatográficos dos compostos químicos usados nos cálculos das RD. A modelação da correlação das várias RD usadas na comparação das amostras estudadas permite também uma quantificação fiável do risco multivariável e total de serem reportadas conclusões erradas sobre esta comparação. A aplicabilidade desta ferramenta foi demonstrada através da determinação de algumas RD de componentes químicos da classe dos sesquiterpanos (SQ), considerando diferentes tipos de produtos petrolíferos.

2. METODOLOGIA

2.1. Modelação usando Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo (MCM) é um método estatístico computacional usado para obter soluções de um dado problema por meio de simulações replicadas de variáveis relevantes. No caso em questão, pretende-se gerar distribuições de probabilidade de RD determinadas com base em sinais de pelo menos 2 compostos químicos com determinada correlação. Assim, as simulações a serem geradas pelo MCM devem ser baseadas nas distribuições de probabilidade e coeficiente de correlação das variáveis que participam no cálculo da RD. Como medida de relação entre variáveis, designadamente sinais cromatográficos dos compostos químicos que participam no cálculo da RD, foram determinadas matrizes de covariância cuja dimensão dependente do número de componentes químicos que participam no cálculo da RD. Para simular sinais cromatográficos correlacionados recorreu-se à decomposição de Cholesky da matriz de covariâncias. A matriz resultante desta decomposição é posteriormente multiplicada por variáveis reduzidas independentes e, depois de ajustes no valor central das variáveis, produz-se uma matriz de dados com uma dispersão e correlação equivalente à observada. Os sinais cromatográficos simulados são posteriormente utilizados para modelar as RD estudadas. Por meio das simulações executadas pelo sistema computacional é possível representar e caracterizar a distribuição de probabilidade da RD, sendo esta tanto mais fidedigna quanto maior o número de dados experimentais base e número de simulações. A partir da distribuição de probabilidade da RD, é possível extrair-se quaisquer parâmetros estatísticos, designadamente a melhor estimativa para a RD e os percentis associados a qualquer probabilidade.

Foi desenvolvida uma folha de cálculo Microsoft® EXCEL® para a simulação MCM das RD. A matriz de covariâncias, contruída considerando dados de precisão e de correlação de sinais cromatográficos de ensaios em triplicado, foi sujeita a uma decomposição de Cholesky através de uma função EXCEL®, criada em Visual Basic, já aplicada noutro estudo (Morgado, 2020). Para a geração de valores das variáveis reduzidas foi considerada a função de distribuição t-Student dado o baixo número de sinais cromatográficos obtidos para cada composto químico (n = 3). Por forma a serem comparáveis, os testes de significância por simulação de MCM ou recorrendo à distribuição t-Student foram realizados para os mesmos níveis de confiança (i.e. 95% e 98%) (Rocha, 2014). Desta forma, o intervalo de aceitação da RD observada numa amostra como equivalente às RD triplicadas da outra amostra é delimitado pelos percentis 2,5 % (P2,5) e 97,5 % (P97,5) ou 1 % (P1) e 99 % (P99) da RD simulada (MCM) ou modelada (t-S) da segunda amostra. Estes intervalos estão associados aos níveis de confiança de 95 % e 98 %, respetivamente.

2.2. Aquisição de dados experimentais e cálculo das razões de diagnóstico

As amostras de produtos petrolíferos inerentes a um processo de ilícito de poluição, designadamente a(s) amostra(s) da contaminação e a(s) amostra(s) da(s) fonte(s) suspeita(s) ("testemunho") são analisadas segundo uma metodologia analítica implementada no IH que recorre à técnica instrumental GC-MS para a obtenção dos dados analíticos (Rocha, 2014).

Para avaliar a funcionalidade da ferramenta desenvolvida, foram simuladas e modeladas as 11 RD entre SQ para produtos petrolíferos distintos: Três gasolinas (Gasolina Pesada, Gasolina Super 1 e Gasolina Super 2), dois gasóleos (Gasóleo 1 e Gasóleo 2) e cinco crudes (Cabinda - Angola, Arabian Light – Arábia Saudita, Ekofisk – Mar do Norte, Bonny Light – Nigéria e Miri Light - Malásia). As RD foram determinadas com base nas áreas dos sinais cromatográficos dos picos de SQ identificados na Figura 1, segundo o formato A/(A+B), e identificadas neste estudo sob a forma A/B conforme a nomenclatura apresentada na Figura 1.

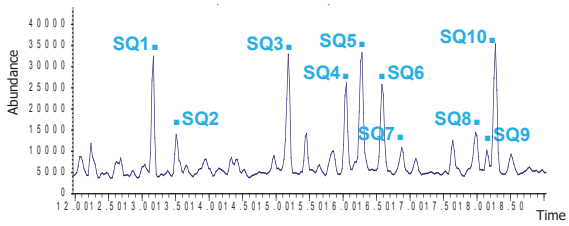


Fig. 1. Identificação de SQ no cromatograma iónico m/z 123 do extrato do Crude de Cabinda.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A título de exemplo do estudo efetuado, estão representadas na Figura 2, as modelações t-Student e

as simulações MCM das distribuições das RD SQ3/SQ5, SQ6/SQ5 e SQ9/SQ10 obtidas a partir dos dados estatísticos de ensaios triplicados. Na mesma figura estão também apresentados os percentis 1 %, 2,5 %, 50 %, 97,5 % e 99 % para ambos os modelos (MCM e t-S). Considerando as 11 RD estudadas, foi possível constatar que os intervalos de confiança modelados pelas duas abordagens não coincidem em muitos casos porque a simulação MCM prevê distribuições assimétricas da RD.

Os intervalos simulados pelo MCM têm, na maioria das vezes, amplitudes maiores que os intervalos modelados pela t-Student.

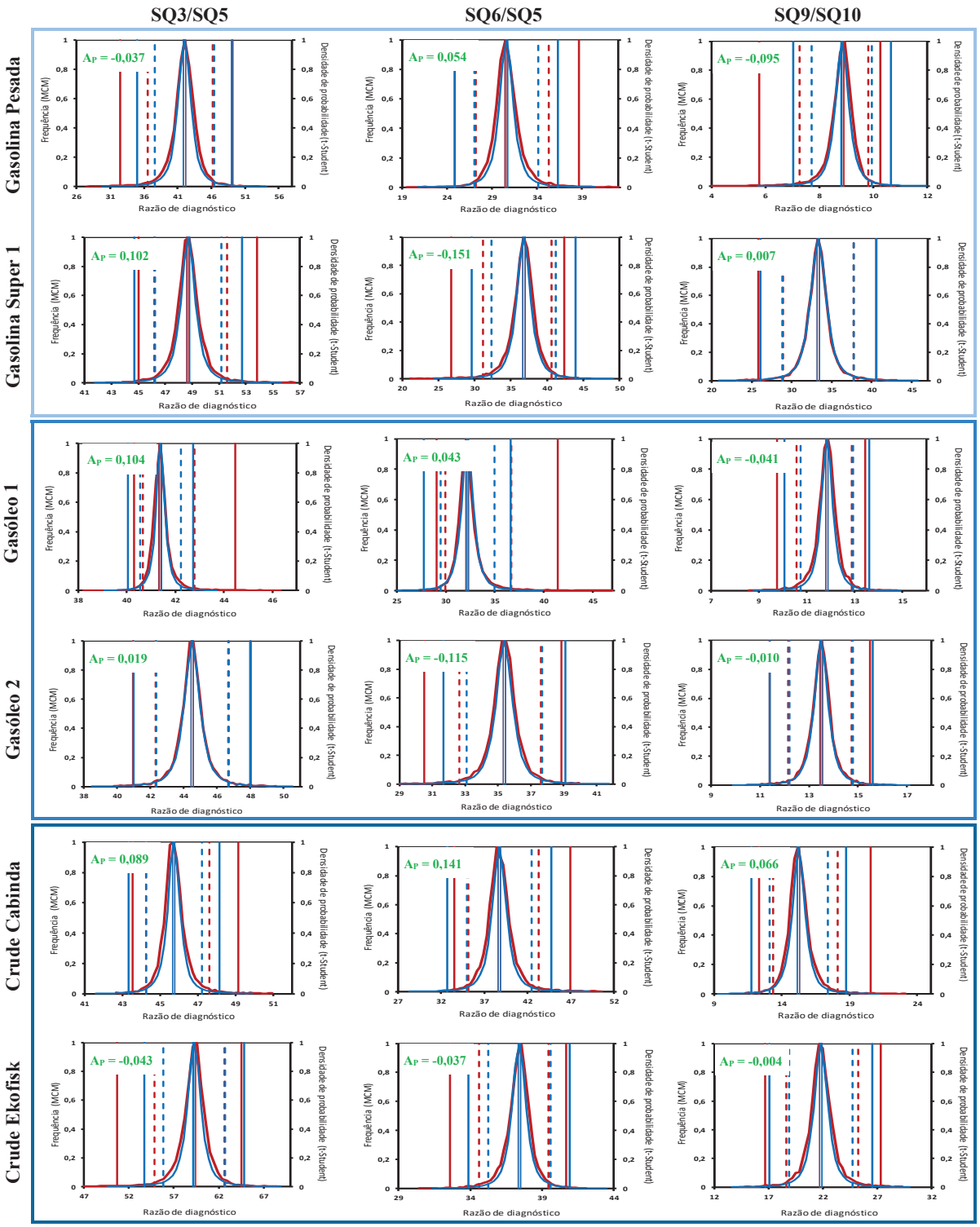


Fig. 2. Distribuições de probabilidade, percentis associados a níveis de confiança de 95 % e 98 %, e coeficientes de assimetria de Pearson (A_p) da modelação MCM, para as RD SQ3/SQ5, SQ6/SQ5 e SQ9/SQ10 e alguns produtos petrolíferos. — Distribuição modelada com base na t-Student; — Distribuição obtida por simulação MCM; — P1 e P99 (t-S); — P1 e P99 (MCM); --- P2,5 e P97,5 (t-S); --- P2,5 e P97,5 (MCM); = P50 (t-S); = P50 (MCM).

É também notório que as distribuições simétricas simuladas para a mesma RD em diversos produtos podem variar entre positivas ou negativas (cauda para a esquerda ou direita, respetivamente) em função do tipo de produto petrolífero, como é ilustrado pelo caso da RD SQ6/SQ5 da Figura 2. Esta variabilidade de tipo de simetria é também observada para diversas RD do mesmo produto petrolífero (e.g. três RD apresentadas para a Gasolina Super 1, Figura 2). No entanto, foram também detetados casos de RD simuladas com distribuição simétrica, verificando-se numa primeira instância pela coincidência dos percentis determinados para as distribuições comparadas (e.g. SQ3/SQ5 para Gasóleo 2, SQ9/SQ10 para a Gasolina Super 1, Gasóleo 2 e para o crude Ekofisk).

A assimetria das distribuições das RD simuladas foi quantificada recorrendo ao coeficiente de assimetria de Pearson (A_P), que expressa o triplo do desvio entre a média e a mediana (P50) em relação ao desvio-padrão das RD simuladas, sendo que um A_P nulo, superior a zero ou inferior a zero corresponde a distribuição simétrica, assimétrica positiva ou assimétrica negativa, respetivamente. É possível também avaliar a intensidade da assimetria a partir do valor do módulo de A_P: $0 < |A_P| < 0{,}15$ - assimetria fraca; $0{,}15 \leq |A_P| \leq 1$ - assimetria moderada e $|A_P| > 1$ - assimetria forte (Fávero e Belfiore, 2017). Na Figura 2 estão expostos os A_P para cada caso apresentado. Quer no estudo em geral, quer nos exemplos ilustrados na Figura 2 observa-se apenas fraca assimetria em alguns casos e comprova-se a maior proximidade da simetria para outros.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho tinha em vista o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de, através do método de Monte Carlo, simular as distribuições de probabilidades de RD, com base em dados de precisão e correlação entre sinais cromatográficos dos componentes que permitem o cálculo da RD. Com a ferramenta criada pretendia-se verificar se as distribuições de probabilidades de RD sob estudo apresentam assimetria, fator que leva a que os critérios que são utilizados nos testes de significância para comparação de RD sejam diferentes dos critérios obtidos assumindo normalidade nas distribuições.

A implementação das simulações MCM e das modelações t-Student numa folha de cálculo de EXCEL®, que inclui a extração dos dados gerados pelo software do GC-MS, facilitou a realização deste estudo e permitirá a utilização deste algoritmo em ensaios de rotina.

A sua aplicação ao estudo de RD entre SQ de diferentes produtos petrolíferos (diferentes tipos e origens) permitiu averiguar que são muitos os casos de distribuições assimétricas destas razões, embora a assimetria seja ligeira. Assim quando as RD de diferentes amostras são comparadas assumindo a normalidade da sua distribuição, podem-se obter taxas demasiadas elevadas de conclusões erradas sobre a concordância das razões. Com este estudo foi possível ainda acrescentar que a assimetria observada varia com o tipo de produto petrolífero e RD testada.

Relativamente aos intervalos estabelecidos para 95 % e 98 % de confiança (critérios para os testes de significância) pelas duas abordagens, estes são muitas vezes mais amplos para o MCM do que para o método t-Student sugerido que a última abordagem tende a ser demasiado otimista.

De um modo geral, a ferramenta desenvolvida permitiu alcançar o fim pretendido, tendo mostrado ser estatisticamente mais sólida que a abordagem que tem vindo a ser empregue.

REFERÊNCIAS

Bettencourt da Silva, R.J.N. (2016). Evaluation of trace analyte identification in complex matrices by low-resolution gas chromatography-mass spectrometry through signal simulation. *Talanta*, 150, 553-567.

CEN European Committee for Standardization. (2012). *Oil spill identification – Waterborne petroleum and petroleum products – part 2: Analytical methodology and interpretation of results based on GC-FID and GC-MS low resolution analyses*. Technical Report CEN/TR 15522-2:2012 (E), 138 pp.

Fávero, L. P. L. e Belfiore, P. P. (2017). *Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata*. Elsevier, Rio de Janeiro, 1187 pp.

McLeay, S., e Omar, A. (2000). The Sensitivity of Prediction Models to the Non-Normality of Bounded an Unbounded Financial Ratios. *The British Accounting Review*, 32, 213-230.

Morgado, V., Palma, C., Bettencourt da Silva, R. J. N. (2020). Monte Carlo Bottom-up Evaluation of Global Instrumental Quantification Uncertainty: Flexible and user-friendly computational tool, *Chemosphere*, 258, 127-285.

Rocha, A. C. (2014). *Identificação da Origem de Produto Poluente Derramado*. Norma Técnica do Instituto Hidrográfico NT.LB.86v01.00, 38 pp.

Van der Heijden, H. (2011). Distributional properties of some financial ratios in insurance. *British Accounting and Finance Association (BAFA) Annual Meeting*, 1-13.

Compostos orgânicos na Costa Portuguesa o projeto AQUIMAR

Santos, P. (1); Rocha, A. C.; Palma, C. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49 1249-093 Lisboa. paula.santos@hidrografico.pt.

Resumo: O presente estudo pretende avaliar a qualidade do sedimento superficial em cinco zonas da costa portuguesa, com potencial para a atividade de aquicultura, estando enquadrado no projeto AQUIMAR (caracterização geral de áreas AQUIcolas para estabelecimento de culturas MARinhas). Foram efetuadas colheitas de sedimentos de cinco áreas oceânicas em duas campanhas oceanográficas. Foram analisadas diversas classes de micropoluentes orgânicos, designadamente bifenilos policlorados (PCBs) (congêneres indicadores: PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB 153 e PCB 180) e pesticidas organoclorados (HCB, HCHs, DDTs e Ciclodienos). Os resultados obtidos foram comparados com Critérios de Qualidade Internacionais da *United States Environmental Protection Agency (US EPA)*, *Environmental Risk Levels* (*ERLs*) e da *Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic* (OSPAR*).*

Palavras-chave: compostos orgânicos, costa portuguesa, projeto AQUIMAR, avaliação da qualidade do sedimento.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura tem vindo a ter grande relevância nos últimos anos, principalmente por se apresentar como uma das alternativas à pesca intensiva. Na sequência desta preocupação surge o projeto de caracterização geral de áreas AQUIcolas para estabelecimento de culturas MARinhas (AQUIMAR) que pretende identificar, nas zonas delimitadas no Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo (aquicultura potencial), aquelas que apresentam melhor aptidão para esta atividade.

Os bifenilos policlorados (PCBs) e os pesticidas organoclorados (OCPs) são duas famílias de compostos que assumem particular importância nos ambientes aquáticos, por serem poluentes orgânicos persistentes (POPs) e substâncias tóxicas. Usados no passado na indústria (PCBs) e na agricultura (OCPs), continuam presentes no ambiente por terem baixa solubilidade em água e caráter hidrofóbico, com tendência para acumular no sedimento, acabando por ser este o destino final de muitos dos contaminantes orgânicos (*Dalia et al.,* 2013).

Neste estudo, foi efetuada uma avaliação da qualidade de sedimentos colhidos em 17 estações de amostragem distribuídas por cinco áreas da costa continental portuguesa, designadas por área A, B, C, D e E. Para tal, foram determinados os teores em, Hexaclorobenzeno (HCB), DDTs[1], Ciclodienos (Aldrina e Dieldrina), Hexaclorociclohexanos (HCHs[2]) e de sete PCBs considerados, pela *European Community Bureau of Reference*, como indicadores de contaminação ambiental (PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB153, PCB138 e PCB180). Os valores encontrados foram comparados com critérios de qualidade de sedimento marinho da OSPAR que definiram as *Background Assessment Concentrations* (*BACs*) e os *Environmental Assessment Criteria* (*EACs)* (OSPARcommission, 2019 e 2014), e da *US EPA* que define os *Environmental Risk Levels* (*ERLs*) (Long *et al.,*1995).

2. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e Amostragem

Na figura 1 apresentam-se as 5 áreas da zona costeira de Portugal Continental consideradas no projeto AQUIMAR designadas como área A (Porto − Viana do Castelo), área B (Aveiro – Figueira da Foz), área C (Peniche), área D (Setúbal − Sines), área E (Sagres – Tavira). Foram consideradas 17 estações (A002, A003, A024, A041, A043, B011, B027, B050, C013, C014, D003, D004, D018, E026, E030, E043 e E068), assinaladas com um círculo vermelho na Fig.1.

As campanhas de amostragem decorreram em outubro de 2018 e março de 2019, a bordo do NRP Gago Coutinho e NRP Auriga.

A amostragem de sedimentos superficiais foi efetuada com draga do tipo *Smith − McIntyre*. Após a colheita, as amostras foram crivadas, por via húmida, com peneiro de malha 2 mm, congeladas (<−18ºC) e posteriormente liofilizadas e moídas

[1] DDTs − (isómeros o,p'-DDT, p,p'-DDT) e metabolitos (o,p'-DDE, p,p'-DDE, o,p'-DDD e p,p'-DDD). Metabolito – Derivado da metabólise do DDT.

[2] HCHs – (isómeros α-HCH, β-HCH e γ-HCH).

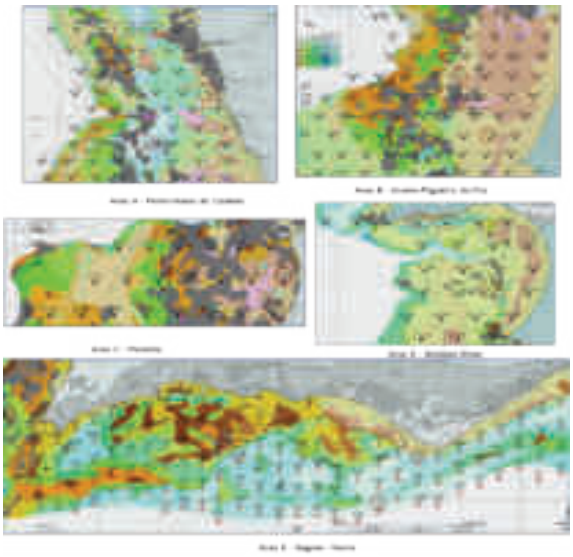


Fig.1. Identificação da área de estudo. Os círculos vermelhos identificam as estações considerados neste trabalho.

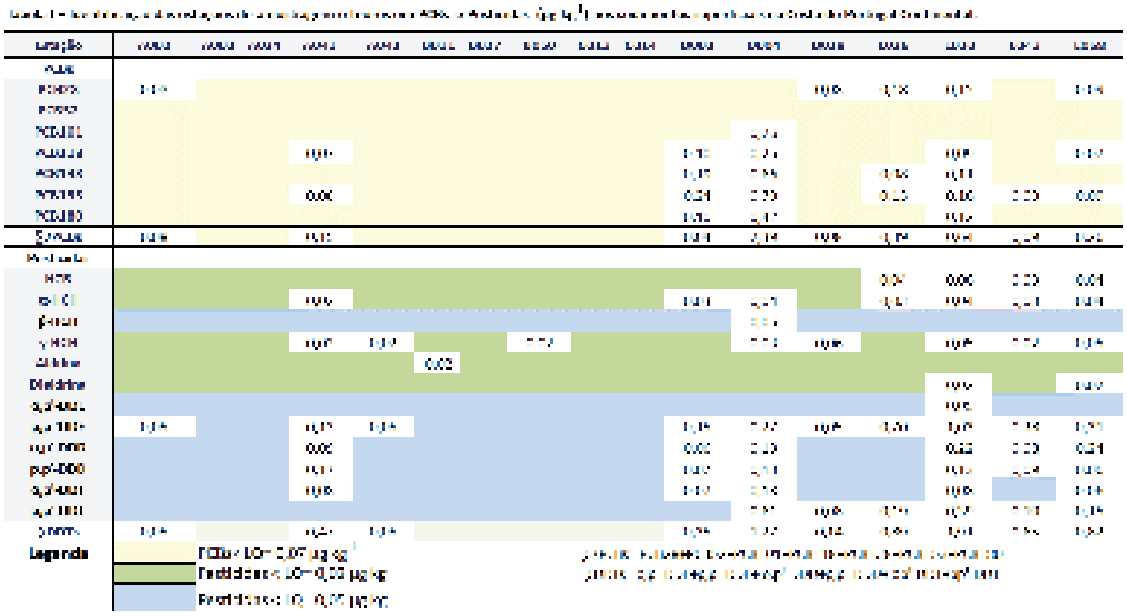
2.2. Procedimento Analítico

A metodologia de determinação dos compostos organoclorados baseia-se na extração das amostras previamente tratadas (liofilizadas e moídas) pela técnica de Extração Acelerada por Solvente (ASE), seguida de purificação e fracionamento do extrato orgânico. O teor em organoclorados é determinado por cromatografia em fase gasosa acoplada a Detetor de Captura Eletrónica com coluna capilar (GC-ECD).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I, apresentam-se os teores em PCBs, e pesticidas nas estações estudadas. A cor verde refere PCBs e a cor amarela e azul pesticidas com teores inferiores ao limite de quantificação do método analítico (LQ). Pela análise da tabela, verifica-se que o maior número de compostos organoclorados com teores quantificáveis encontram-se nos sedimentos da estação A041 e nas estações da área D e E. A soma dos sete PCBs (∑7PCBs) é quantificável apenas na área A, D e E. A concentração quantificável mais baixa de ∑7PCBs igual a 0,08 µg kg^{-1} foi registada nas estações A002 e D018, e a mais alta de 2,39 µg kg^{-1} na estação D004. No caso dos pesticidas, o HCB, é quantificável apenas na área E com teor mínimo de 0,03 µg kg^{-1} e um máximo de 0,06 µg kg^{-1}, nas estações E046 e E030, respetivamente. Os HCHs (isómeros α, β e γ) são quantificados em todas as áreas, com exceção da área C. Os teores variam entre (Mínimo-máximo: 0,02 e 0,06 µg kg^{-1}), sendo o β-HCH quantificável apenas na estação D004 com concentração ao nível do LQ (0,05 µg kg^{-1}). Nos ciclodienos, a aldrina é quantificável na estação B011 e a dieldrina na estação E030 e E068 com concentrações ao nível do LQ (0,02 µg kg^{-1}). O parâmetro soma de DDTs (∑DDTs) é quantificável apenas nas áreas A, D e E com concentração a variar entre (Min-máx:0,05 a 1,91 µg kg^{-1}), nas estações (A002 e A043) e estação E030, respetivamente.

Das cinco áreas em estudo, são as estações D004 e E030 aquelas que apresentam teores mais elevados para os parâmetros ∑7PCBs e ∑DDTs.



3.1 Distribuição de Famílias de Pesticidas Organoclorados

Para efeitos de interpretação dos principais pesticidas nas áreas em estudo, foi representada na Fig. 2 a concentração do HCB e famílias (∑Ciclodienos[3], ∑DDTs e ∑HCH[4]s) em cada uma das estações. Nas somas foi considerada a concentração individual (µg kg^{-1}) do pesticida da referida família.

[3] ∑Ciclodienos= Aldrina+Dieldrina

[4] ∑HCHs = α-HCH+β-HCH+γ-HCH

Os pesticidas são mais quantificáveis nas áreas mais a sul (D e E). Os teores mais elevados registam-se na estação E030 para o HCB, ∑DDTs e ∑Ciclodienos (0,06, 1,91, e 0,02 µg kg-1, respetivamente) e na estação D004 para a ∑HCHs com 0,12µg kg^{-1}. A ∑Ciclodienos é apenas quantificável na estação B011, E030 e E068 e apresentam valores ao nível do LQ (0,02 µg kg^{-1}). Considerando o total de pesticidas, as estações A043, B011, B050 registam concentração ao nível do LQ (0,02 µg kg^{-1}) e as estações E030 e D004 os valores mais elevados (2,1 e 1,4 µg kg^{-1}, respetivamente).

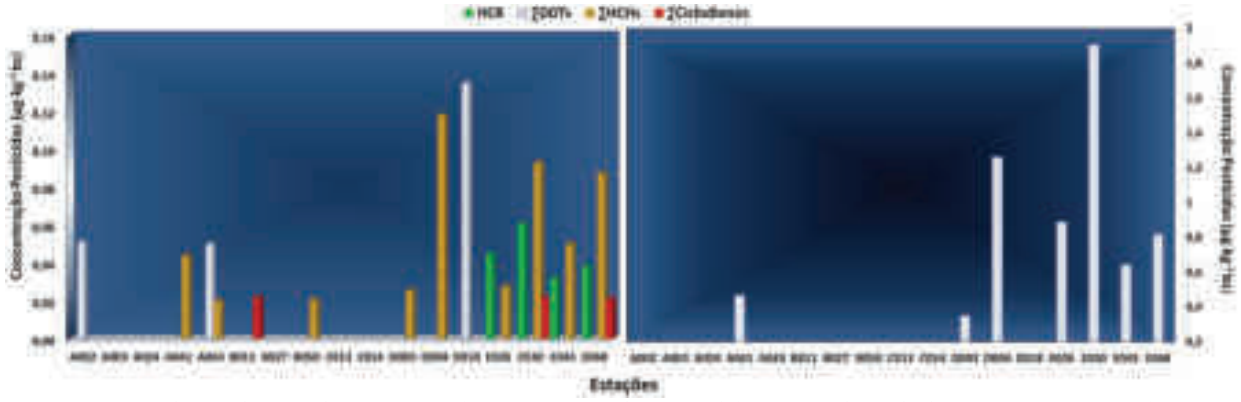


Fig.2. Distribuição de pesticidas por estação (concentrações em base seca (bs); ausência de resultados para parâmetros <LQ).

3.2. Distribuição e Composição em PCBs e DDTs

Na Fig. 3 estão representadas as distribuições percentuais dos PCBs e dos DDTs relativamente ao total (∑7PCBs) e (∑DDTs), respetivamente. Na representação gráfica dos PCBs, verifica-se que apenas o congénere PCB28 é quantificado na estação A002 e D018, e o congénere PCB153 na estação A041 e E043. Os congêneres PCB28, PCB101, PCB138, PCB153 e PCB180 são quantificados nas estações D003, D004 e D018, e nas estações E026, E030, E043 e E068 os cogêneres PCB28, PCB138, PCB153 e PCB180. Os congéneres PCB153 (hexaclorado) e PCB28 (tetraclorado) são dominantes nas cinco áreas em estudo, representando entre 28% a 100% da ∑7PCBs.

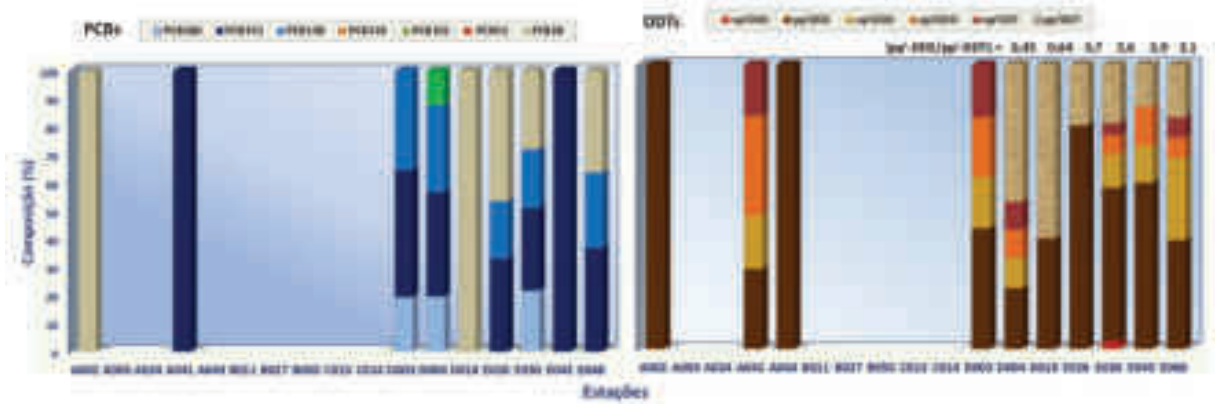


Fig.3 Distribuição percentual dos sete PCBs e seis DDTs (dois DDTs e seus metabolitos) nos sedimentos colhidos nas estações em estudo. Rácio entre metabolitos de DDTs (p,p'-DDE e p,p'-DDT).

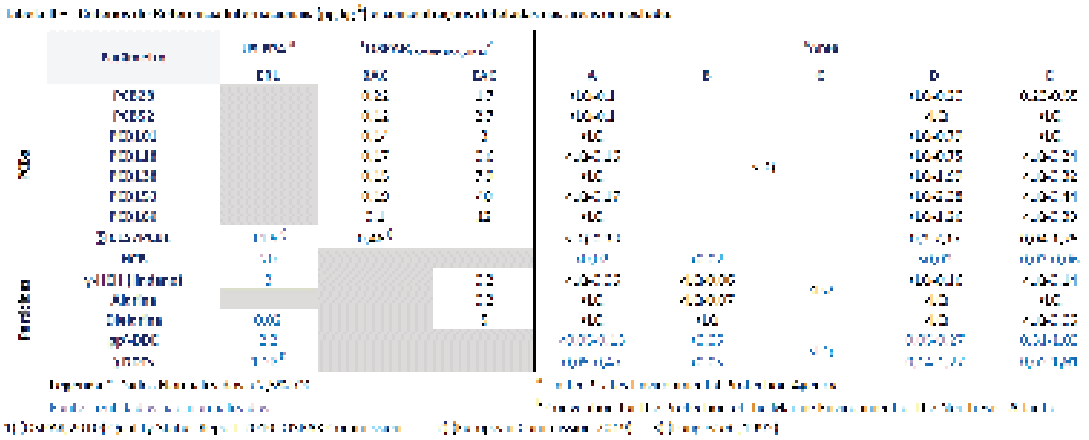
A representação dos DDTs mostra que estes apresentam distribuição semelhante aos PCBs, com o DDT e seus metabolitos (DDD e DDE) a serem quantificados nas áreas A, D e E. Na generalidade o metabolito p,p'-DDE é o composto dominante, sendo o único quantificável na estação A002 e A043. Nas restantes estações também se regista a presença de DDD e DDT embora a sua contribuição individual para o ∑DDTs seja inferior à do p,p'-DDE. O p,p'-DDT contribui com 15 a 61% para o ∑DDTs e o p,p'-DDD com 7 a 35%. A presença de DDT (isómeros o,p' e p,p'- DDT) foi assinalada em todas as estações da área D e E. No sentido de avaliar se o DDT presente na área D e E teve entrada recente no meio, foi calculado o rácio entre a concentração de p,p'-DDE e p,p'-DDT (p,p'-DDE/p,p'-DDT). A avaliação foi efetuada da seguinte forma: se p,p'-DDE/p,p'-DDT < 2, o p,p'-DDT teve entrada recente no meio; se p,p'-DDE/p,p'-DDT > 3 é sugerido que o p,p'-DDT tem tempo de residência antigo (Mil-Homens *et al.*, 2016).

Na Fig.3 e representação gráfica dos DDTs está o valor deste rácio nas estações avaliadas. Estação E026 e E043, com rácios de 3,7 e 3,9 respetivamente, registam entradas antigas no meio.

3.3. Comparação com Critérios de Qualidade Internacionais

Os resultados deste estudo foram comparados com os critérios de qualidade para sedimentos estabelecidos pela *(US EPA),* que define os *Environmental Risk Levels* (*ERLs*) (Long *et al.,1995)* e com *a* (OSPAR), que estipulou as *Background Assessment Concentrations* (*BACs*) e os *Environmental Assessment Criteria* (*EACs)* (OSPARcommission,2014). Estes dois conjuntos de guias referem-se a concentrações de referência de contaminantes existentes naturalmente no sedimento (*BACs*), e *EACs* concentração abaixo da qual nenhum efeito crônico deve ocorrer em espécies marinhas, incluindo as espécies mais sensíveis (OSPARcommission,2014). Os *ERLs* definem a concentração abaixo da qual não se espera que efeitos adversos ocorram nos organismos do biota.

Os valores de referência disponíveis, para alguns dos contaminantes estão apresentados na Tabela II junto com os resultados obtidos neste estudo.



Da análise da tabela verifica-se que os teores em PCBs nas estações da área A, B e, C estão abaixo dos *BACs*. Para as restantes estações estudadas, os teores determinados em pesticidas e PCBs encontram-se abaixo dos *EACs* não revelando risco significativo para o meio ambiente A exceção observou-se na estação D004 cujo teor em PCB118 excede o *EAC*, sugerindo que neste local pode ocorrer efeitos crônicos em espécies marinhas. A ∑DDTs excede ligeiramente o ERL na estação E030, sugerindo que neste local pode ocorrer, ocasionalmente, efeitos biológicos adversos para os organismos marinhos. O oposto é observado para a ∑7PCBs e para os restantes pesticidas, passiveis de serem avaliados através deste critério, uma vez que o ERL não é excedido em nenhuma das estações estudadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo as estações E030 e D004 são as que apresentam maior concentração em contaminantes. Comparando essas concentrações com critérios de qualidade, verifica-se que na generalidade os teores obtidos não excedem estes critérios. Com exceção das estações D004 e E30 para os parâmetros PCB118 e ∑DDTs, sugerindo que nestes locais podem ocorrer ocasionalmente efeitos adversos no biota.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto de caracterização geral de áreas AQUIcolas (AQUIMAR), cofinanciado pelo programa operacional Mar2020 (MAR-02.01.01-FEAMP-0107).

REFERÊNCIAS

Dalia, A., Khaled, A., El Nemr, (2013). Assessment of pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments of the Egyptian Mediterranean Coast. *Egyptian. Journal of Aquatic Research*, 39,141-152.

European Commission, 2019, – Marine chemical contaminants –support to the harmonization of MSFD D8 methodological standards. Matrices and threshold values/reference levels for relevant substances. JRC Technical Reports 89 pp.

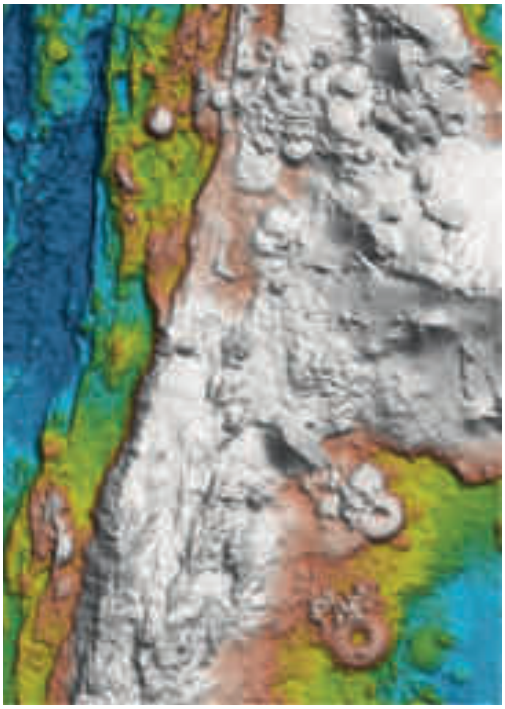
Long, E.R, MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19, 81-87.

Mil-Homens, M., Vicente, M., Grimalt, J., Micaelo, C., Abrantes, F. (2016). Reconstruction of organochlorine compound inputs in the Tagus Prodelta. *Science of the Total Environment*, 540, 231-240.

OSPAR, 2014 – Levels and Trends in Marine Contaminants and their Biological Effects – CEMP Assessment Report (2013), 21 pp.

TECNOLOGIAS DO MAR

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Sustainable energy system for ships: Ammonia as energy storage

Nunes, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. Rua das Trinas, nº 49, 1249-093 Lisboa. acatarina.mnunes@gmail.com.

Abstract: This paper presents a proposal for a sustainable energy system (SES), applicable to ships. The vessel used as a model to implement this proposal is a hydrographic ship that has undergone the conversion of some structures, including the replacement of conventional production of diesel-electric energy and storage of diesel fuel with a new SES fully integrated into the ship, capable of responding to the current load demand in a typical operational profile for 1 month. The SES studied use ammonia as a fuel, part of which is produced onboard, using renewable energy. An energy model of the proposed SES was developed and the respective energy balance was carried out, with the possibility of testing different configurations and variations in the load demand profile. The renewable energy systems installed onboard will be wind and photovoltaic, after external modifications to the deck.

Key words: ammonia, green ship, sustainable energy.

1. INTRODUCTION

At the global level and, more specifically, at the European level, there are several goals to be met in order to mitigate climate change, namely, related to energy efficiency (EE), renewable energy (RE) and greenhouse gases (GHG) emissions. By 2030 the EU aims to reduce GHG emissions by 40%, to increase the share of RE in the member states energy to 27%, and to reach a 27% energy efficiency target (European Council, 2014). Achieving these objectives means that the percentage of renewable energy in the share of electricity is likely to reach up to 50% of the electricity produced (European Commission, 2015). In 2018 the International Maritime Organization (IMO) adopted a global strategy to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from international shipping by at least 50% by 2050 (compared to 2008) (MEPC, 2018). Given the long lifetime of ships (typically 25-30 years) and the strong reliance of the sector on fossil fuels, meeting the IMO's ambition will require a rapid introduction of alternative fuels for ship power production. For example, hybrid propulsion systems offer the possibility of incorporating a range of fuels, energy management systems, and batteries to provide peak power for the main engines to reduce GHG emissions and improve efficiency.

The option of using ammonia as a fuel become attractive from the point of view of handling, bunkering and onboard safer storage, avoiding safety hazards. In addition, with the possibility of considering onboard intermediate processes such as electrolysis by purifying sea water, or renewable energy production, it's possible to consider the onsite production of fuels that would otherwise have to come substantially from shore supply through direct bunkering.

The main purpose of the present work is to develop the concept for a zero-emissions ship demonstrator, based on the conversion of a hydrographic ship model. It's proposed a sustainable energy system (SES) based on the adoption of different alternative low/zero-carbon fuels, innovative energy conversion technologies and renewable energy systems. This system is designed through an energy model developed in the context of this work, taking into account a typical load demand profile for a 1-month operation of the subject hydrographic ship. The technologies proposed includes ammonia as fuel, with onboard fuel synthesis, and energy conversion in retrofitted Internal Combustion Engines (IECs). The summary in table 1 identify the basic concept characteristics of SES proposed.

Table 1. Concepts for Sustainable Energy System.

Alternative Fuel	Ammonia from renewable electricity: wind and photovoltaic.
Energy Conversion	IEC for onboard electrical power production.
Onboard short-term Electrical energy storage (batteries)	Lithium-ion battery modules for excess energy production storage, peak load levelling (No shore connection power charging).
Onboard Fuel Synthesis/Production	Ammonia production including following sub-processes: - Air separation, - Sea water purification, - Electrolysis, - Power-to-liquid ammonia synthesis (NH_3 production unit).

2. THE MODEL SHIP

The ship used in the present study is a hydrographic ship (figure 1) with technical specifications (table 2) defined for design purposes. The selection of this ship to study SES solutions is due to the fact that its missions are scientific and focused on society support, pollution prevention and protection of marine ecosystems, therefore enhancing the good

potential for adopting environmentally and climate friendly sustainable options.



Fig. 1. Model: hydrographic ship.

Table 2. Technical specifications.

Displacement (ton)	2 300
Length (m)	68
Breadth (m)	13
Draught (m)	5,5
Max speed (kts)	11
Cruise Speed (kts)	10
Propulsion (Electrical Motors)	2 x 800 kW
Generators (Diesel Engines)	4 x 600 kW

The main reasons for choosing this type of ship were:

- Type of mission, involved in hydrographic scientific surveys, exposed to public opinion and likely to be an excellent demonstrator pilot platform for SES for ships and awareness platform for the ocean's sustainability from an air emissions and climate perspective.
- Structural arrangement of the ship includes significant space to provide the necessary flexibility in the implementation of retrofit solutions implying the installation of energy conversion units and storage of alternative fuels.
- Ship has already a Diesel-Electric installation, with DC Electrical Engines fixed on two propulsion shafts.

2.1 Structure

This hydrographic ship model has many spaces available below the waterline, where it's possible to store different types of fuels, up to 600 m^3, or make adaptations to install necessary equipment for the SES that is presented. In addition, after making the necessary adaptations and corrections, the ship has a lot of external space available where equipment can be installed to obtain renewable energy, namely wind generators and photovoltaic panels. In this specific case, in terms of external available space, the diesel combustion funnels would be removed and all the obstructions of the upper deck would be released to install the photovoltaic panels (figure 2). The red line represents the base where the panels would be installed, with the dashed segment corresponding to an addition to the ship's original structure to maximize the use of solar energy.

It's also part of the project the installation of flettner rotors in order to increase the ship's efficiency in propulsion and consequent sustainability.

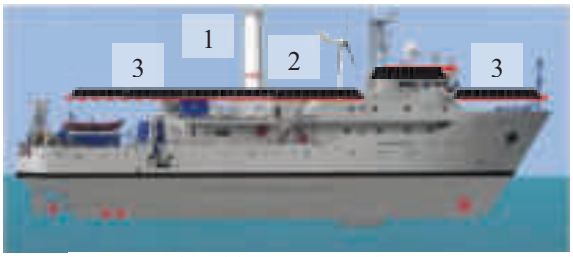


Fig. 2. Ship external modifications. (1 – Flettner rotor; 2 – Wind generators; 3 – PV panels).

2.2 Demand

In order to better understand the expected electrical load demand of the ship, the different consumers onboard were listed according to the respective maximum power requirements (table 3). However, the energy model was developed with hourly consumption for one month, depending on the type of mission.

Table 3. Maximum power requirements.

Equipment	**Power (W)**
Propulsion	1 600 000
Auxiliaries	80 000
Cooling	16 000
Services	450
Fresh Water	3 500
Hotel	24 290
Heating	8 000
AC	10 000
Flettner	500
NAV-COM	688
ROV op	500
Sonar MF	50
Lighting	1 040
cranes	40 000

2.3 Operational profile

The ship has different operational profiles with the respective energy consumption, according to the task to be performed: transit, maintenance of multiparametric buoys, operation with ROV (Remotely Operated Vehicle) or hydrographic surveys. The operating area differs depending on the activity. Therefore, 4 typical days of ship operation were defined, according to the task in execution. Each one has different energy demands. In parallel, 3 areas of operation in Portuguese coast were defined with different characteristics, including renewable resources, producing different values of wind and photovoltaic energy. In order to establish a profile close to the ship reality, a period of one month was established, which resulted in the analysis of the figure 3.



Fig. 3. 1-month operational profile.

3. SES - AMMONIA

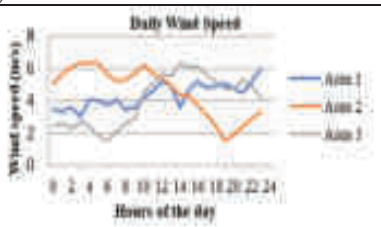
Ammonia has been given strong attention in the last few years as an alternative fuel, more specifically as a hydrogen carrier (Valera-Medina, 2018). The use of ammonia as an alternative fuel has several reasons: 1) less complicated and safer energy storage, compared to hydrogen. Hydrogen storage needs -253 ºC, ammonia needs -33 ºC, and ammonia can be stored below deck without risk; 2) 50% better energy density with ammonia compared to hydrogen, giving longer range; 3) Ammonia can be used as a fuel in dual-fuel IEC diesel cycle or Otto cycle engines, making it possible to develop a project for engine conversion on that basis; 4) Sharing large-scale production infrastructure that is going green: since ammonia is used for many other applications, such as fertilisers, it's already produced in large quantities with these industries making efforts to produce green ammonia using electrolysis at reasonable costs; 5) Sharing large-scale distribution infrastructure: ammonia is already transported around the world as most chemical tankers can already carry it (Kobayashi et al., 2018).
In the present work the option for ammonia as an alternative fuel is made together with the re-conversion of existing diesel generators onboard, and installation of a set of lithium-ion batteries for electrical energy storage, including all necessary equipment for ammonia production onboard.

4. RENEWABLES

4.1 Resources

Solar radiation and wind speed data were obtained for the three study areas, as can be seen in table 4 (IPMA, 2014).

Table 4. Availability of renewable resources.

Solar Radiation		
Area 1	1550 kWh/m^2	
Area 2	1600 kWh/m^2	
Area 3	1650 kWh/m^2	

4.2 Renewable Energy Systems

Taking into account the characteristics of the platform (ship) and the renewable resources available in the operational areas, a model of photovoltaic panels and a model of wind turbines were selected. After the proper sizing (Castro, 2011) it was concluded that it would be feasible to install 174 photovoltaic panels of the model *LG 365W Solar Panel Fixed Frame* (E-Marine, 2019a) in an area of 300 m^2 and 2 wind turbines of the model *Airdolphin 24V* (E-Marine, 2019b) on the ship deck.

5. BALANCE

The adaptation of the ship for use and production of ammonia on board implies:

- Initial condition of 100 tons bunkered from land. Ammonia can be stored as a liquid at -33 degrees Celsius at atmospheric pressure.
- Use of 4 ICE of 600 kW each for ammonia consumption.
- Due to the excess of energy from the renewables and from the combustion of the ammonia whose energy has been stored in a group of 108 batteries, from the third day of the mission it's possible to start ammonia production on board.
- It takes 12 000 kWh of energy to produce ammonia through the electrolysis process and an air separation unit (Bartels, 2008).
- Renewable energies are used for the processes of obtaining the H_2 of the water and the N_2 of the air so that later they combine in NH_3 (ammonia).

The balance for Ammonia is presented in the table 5.

Table 5. Ammonia balance.

Ammonia process	**Quantity (ton)**
Bunkered (in port)	90
Produced onboard	45
Consumed	113,9
On Arrival	21,1
Need to bunker before next mission	68,9

The graph in figure 4 shows the energy balance results taking into account the initially stored ammonia, the production of energy from renewable sources and from the ammonia consumed in ICE, and the consumption of all onboard electrical applications during one month.
In relation to the emissions to the atmosphere, it's suggested to implement a unit in which, through existing ammonia, only gases in the form of nitrogen and water vapor are extracted. This allows the elimination of nitrogen oxides which could be toxic. Carbon dioxide is not produced by the system.

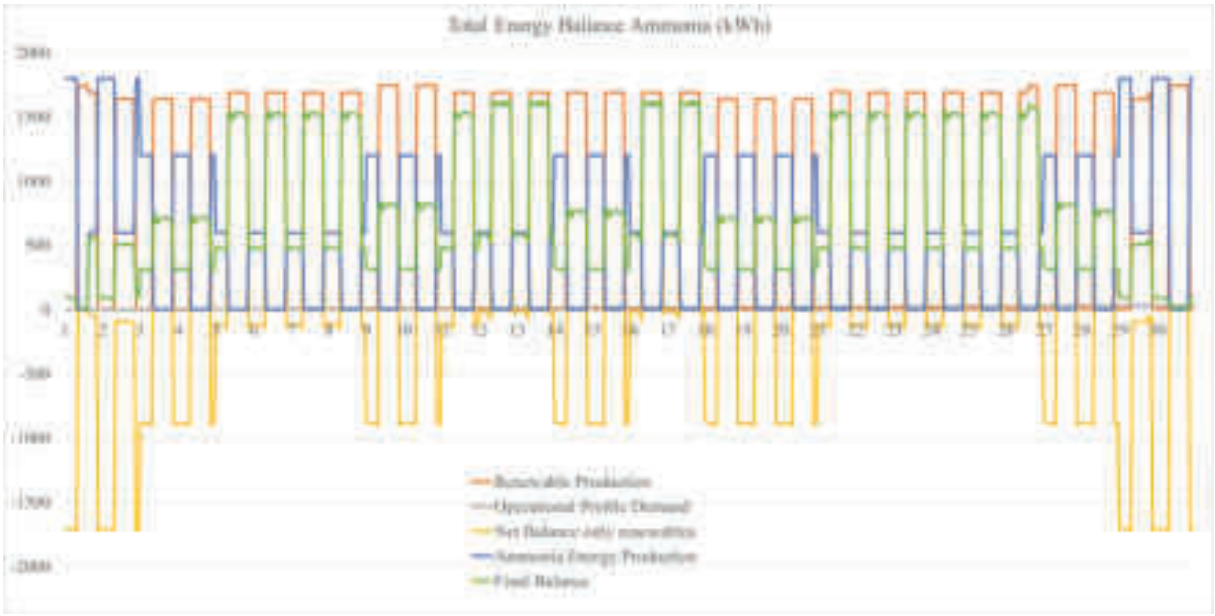


Fig. 4. Energy balance for Ammonia SES during one month.

6. FINAL CONSIDERATIONS

Due to the lack of available information, the energy required to maintain stored ammonia at -33 degrees Celsius was not taken into account in the present study.

The storage of ammonia in ships has revealed great potential for storing energy over long distances or for a long time.

The production of ammonia onboard for own consumption becomes a sustainable system because it's carried out through renewable energies from the wind and the sun. In Portugal, these resources are abundant and should be more used.

With all the international commitments that have been made to reduce carbon dioxide emissions, this type of system implemented in ships would be an effective measure. Considering the very high consumption of fossil fuels on ships, the differences in emissions would be significant.

Acknowledgements

I thank Professor Mário Costa for all the motivation for this theme and I dedicate this work to him in his honour, regretting our loss in the present year.

I thank Ricardo Batista for all the knowledge transmitted and for his support in this project.

REFERENCES

Bartels, J. (2008), *A feasibility study of implementing an Ammonia Economy*. Graduate Theses and Dissertations. 11132. https://lib.dr.iastate.edu/etd/11132.

Brohi, E. (2014). Ammonia as fuel for internal combustion engines? Sweden: Chalmers University of Technology.

Castro, R. (2011). Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e minihídrica, IST Press. 3ª Edição.

E-Marine (2019a). Marine Energy Solutions. *LG 365W Solar Panel Fixed Frame*. https://www.emarineinc.com/lg-365w-solar-panel-fixed-frame.

E-Marine (2019b). Marine Energy Solutions. *Airdolphin Mark Zero Off Grid Small Wind Turbine 24V*. https://www.emarineinc.com/Airdolphin-Mark-Zero-Off-Grid-Small-Wind-Turbine-24V.

European Council (2014). EUCO 169/14 (23 and 24 October 2014) conclusions.

European Commission (2015), "Launching the public consultation process on a new energy market design", COM (2015) 240 final.

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) (2014). Valores médios horários de velocidade do vento e rumo do vento, observados na estação meteorológica de Lisboa/Tapada da Ajuda, no período de 01 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2013.

Kobayashi, H., Hayakawa, A., Somarathne, K. & Okafor, E. (2018). Science and technology of ammonia combustion. Proceedings of the Combustion Institute, 37, 109–133.

MEPC (2018). Resolution MEPC.304(72) - Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships.

Valera-Medina, A., Xiao, H., Owen-Jones, M., David, W. & Bowen, P. (2018). Ammonia for power. Progress in Energy and Combustion Science, 69, 63-102.

Simulation of Hurricane Lorenzo at the port of Lajes das Flores, Azores, by using the HIDRALERTA system

Santos, M. I. (1); Reis, M. T. (2); Pinheiro, L. (2); Fortes, C. J. E. M. (2); Zózimo, A. C. (2); Serrazina, V. (2); Salvador, M. (3); Azevedo, E. B. (4, 5); Reis, F. V. (4, 5)

(1) ECOMARPORT project, Gaspar Frutuoso Foundation – Univ. of the Azores, Ponta Delgada, São Miguel, 9500-321 São Miguel, Azores. misantos@lnec.pt.

(2) National Laboratory for Civil Engineering, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisbon.

(3) Portos dos Açores SA (ECOMARPORT project), Praia da Vitória, Terceira.

(4) Observatory for the Environment of the Azores, Estrada Gaspar Corte Real, 9700-030 Angra do Heroísmo

(5) ECOMARPORT project, Group of Climate, Meteorology and Global Change, IITAA – Univ. Açores, 9700-042 Angra do Heroísmo, Terceira.

Abstract: HIDRALERTA is a forecast, early warning and risk assessment system for port and coastal areas that uses measurements and estimates of sea-waves and water levels to evaluate overtopping/flooding events. The calculation of the mean overtopping discharge over a maritime structure is performed through artificial neural network-based tools and/or empirical formulae. The system is developed in open source software, mainly using the Python language. This paper presents the application of HIDRALERTA system to reproduce the hurricane Lorenzo conditions and impacts at Lajes das Flores port on October 2nd 2019, the most affected port in Azores. This hurricane was regarded as the strongest storm to hit Azores in 20 years. The system predicted the expected results for the hurricane wave characteristics, as well as overtopping discharge volumes. Further validation still need to be improved with the collaboration of the local authorities and the use of historical data.

Key words: HIDRALERTA, Lajes das Flores, Lorenzo, overtopping, warning system.

1. INTRODUCTION

Azores islands, located in the North Atlantic Ocean, are extremely vulnerable to coastal hazards due to its exposed location and concentrated human activity in coastal areas due to limited availability of land. Despite the risks, a large part of its population, economic activities and construction are constantly growing along the coast, increasing shorelines pressures and human vulnerability to coastal hazards. Indeed, the increased frequency and intensity of emergency situations caused by adverse sea conditions, jeopardizes the safety of people and goods, with negative impacts for society, economy and the environment. As a result, severe weather conditions together with the often associated flooding are becoming a growing concern for Azores residents. Therefore, a methodology to assess the overtopping risk in port and coastal areas is essential for a proper planning and management of these areas. Within this framework, it has been under development an early warning and forecast system of emergency situations related to overtopping and flooding events in coastal and port areas, the HIDRALERTA system.

In 2015, the first prototype of the HIDRALERTA system was implemented at the port of Praia da Vitória, in Terceira Island. More recently, within the framework of the ECOMARPORT project, two other prototypes are being developed and tested in Azorean at Pico Island. However, in order to have confidence on the system, it is important to apply it for relevant storms that led to emergency situations in terms of overtopping and flooding, and for which qualitative and quantitative information is available.

One of these cases, is the hurricane Lorenzo that reached the Azores Islands on the 2nd October, 2019 and was responsible for severe damage in almost all port areas. The port of Lajes das Flores was the most affected one, Fig. 1.



Fig. 1. Wave overtopping event at Lajes das Flortes Port.

This well documented event is an excellent test case for the HIDRALERTA system. This paper shows the latest prototype of the system developed to reproduce the hurricane Lorenzo conditions and impacts at the port of Lajes das Flores.

2. THE HIDRALERTA SYSTEM

The HIDRALERTA system (Sabino *et al.*, 2018;

forecast system with early warning and risk assessment capabilities. As a forecast and early warning tool, HIDRALERTA enables the identification, in advance, of the occurrence of emergency situations, prompting the responsible entities to adopt measures to avoid loss of lives and minimize damage. As a long-term planning tool, the system uses datasets of several years of sea-wave/water level characteristics and/or pre-defined scenarios, to evaluate wave overtopping and flooding risks of the protected areas, allowing the construction of risk maps (Poseiro, 2019).

The HIDRALERTA system was developed in a Python framework and encompasses four main modules: I - Sea-state Characterization; II - Wave Run-up and Overtopping; III - Risk Assessment; III - Warning System. As a forecast and warning tool, the system uses modules I, II, and IV, as illustrated in this paper (section 3).

3. CASE STUDY – HURRICANE LORENZO AT LAJES DAS FLORES PORT, AZORES

3.1. Hurricane Lorenzo

Hurricane Lorenzo was regarded as the strongest storm to hit the Azores islands in the last 20 years (hurricane Category 2 to 1), breaking records as the most north-easterly Category 5 storm ever observed in the North Atlantic basin.

According to National Hurricane Center (NHC) report, Lorenzo developed from a tropical storm that moved off the west coast of Africa on September 22, growing larger over the course of its development. The storm continued to intensify and reached its initial peak of intensity with maximum sustained winds of 230 km/h and a central pressure of 939 mbar early on September 27. Later on September 29, Lorenzo reached Category 5 strength, becoming the easternmost hurricane of such intensity recorded in the Atlantic basin, exceeding any of the 35 Category 5 hurricanes that have occurred in records since the 1920s (Zelinsky, 2019). With a fastening northeastward track and expanding wind field, Lorenzo reached the western Azores islands on October 2, passing just west of Flores island between 4:00 and 4:30 a.m. as a Category 2 to 1 hurricane, and brought high winds of about 163 km/h, pounding surf and storm surge to the islands, reaching significant wave heights of 15 m, coming mainly from the southwest. Over 171 incidents were reported in all the islands, causing damage costs of around 330 million euros. The most affected islands were Flores and Corvo, in addition to Faial, Pico, São Jorge, Graciosa and Terceira. Among the incidents, the most common were tree falls, floods, destroyed roads, power cuts, costal surges, but the biggest damage occurred in Port of Lajes das Flores, the only commercial port on the island. The main harbor infrastructures were severely damaged, including the destruction of its main pier (concrete sea wall and concrete blocks were destroyed or displaced), part of the dock and quay, buildings, cargo containers, vessels and fishing boats were "swashed" by the sea, causing serious problems over the following months regarding supply provisions to the island, Fig. 2.

After hitting Azores, hurricane Lorenzo began its transition to an extratropical cyclone, racing towards Ireland and the United Kingdom.



Fig. 2. Effects of hurricane Lorenzo at Lajes das Flores port.

3.2. The Port of Lajes das Flores

The port of Lajes das Flores is located on the southeast coast of Flores island and is protected by two breakwaters, the main breakwater that protects the entire harbor and commercial quay, and a second one, called a "shelter pier", inside the port protecting mainly the fishing and recreation sectors, Fig. 3.



Fig. 3. Lajes das Flores port before and after hurricane Lorenzo.

The main breakwater represents the main port protection structure against sea waves, mainly from SW-SE. With a total length of approximately 300 m, the 2(V):3(H) armor slope at the trunk and 1:2 at the head are protected by tetrapods and antifer cubes, respectively.

The recreation and fishing sectors are protected by a 100 m long (north) shelter pier and a counter-jetty (west jetty) that serves as a pier of honor and reception. The north breakwater is a rubble mound breakwater

with a total length of 100 m and with a 1:2 slope protected by a rocky armor and filter layer. Its deepest part is located at about -10.5 m (ZH). The breakwater crest is at +6.5 m (ZH), with ZH the chart datum.
According to local authorities, during Lorenzo hurricane, several overtopping events occurred since about 3 am, especially at the main (SW-NE aligned) breakwater, beginning at its root and then embracing all the trunk and head. Moreover, the wave conditions inside the port were significant, causing severe damage, including the destruction of concrete sea wall, concrete blocks, part of the dock and quay, buildings, cargo containers, vessels and fishing boats.

3.3. Application of HIDRALERTA

3.3.1. Module I – Wave characteristics

The system starts by requesting wave and wind forecasted fields data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The ECMWF wave and wind data results from the application of WAM numerical model (WAMDI Group, 1988) using pressure parameters from HRES (Persson, 2001). The ECMWF forecasts are usually available within 2 to 3 hours after the user's request. Then, the system extracts the useful parameters at the desired locations to set up numerical simulations of wave propagation models. The system also generates 2D distribution layouts for each forecast time step that represent the offshore sea state (using *matplotlib* library from the Python programming language), firstly, for the North Atlantic and then to the Azores archipelago (Fig. 4a). In this application test, data extracted from WAM model results is located at the nearest point to the Flores island that better represents the boundary conditions for the main numerical grid of the spectral wave propagation model SWAN (Booij *et al.*, 1999) that encompasses the whole island. Then a series of two nested grids simulate the propagation of wave characteristics to the vicinity of the port using the same model, (Fig. 4b). Then, a more accurate model for sheltered areas, DREAMS (Fortes, 2002), propagates the waves to the port entrance and interior (Fig. 4c). All the results obtained by the numerical models are also depicted as 2D layouts of wave characteristics. Fig. 4 illustrates the layouts produced by the system for 6 am of 2 October 2019, the most critical moment of the hurricane.
Fig. 4 shows that at 6 am, when Lorenzo is passing south Flores island, models WAM and SWAN forecasted that, near Lajes das Flores port, waves have a predominant direction from Southwest, with a spectral significant wave height, H_{m0}, ranging between 10 and 14 m and a maximum wave period, T_{max}, of about 15 s. Fig. 4 c) shows that waves approach the port entrance with a South heading. The highest wave heights occurred in the main breakwater, beginning at the root, increasing towards the trunk and head, reaching H_{m0} of about 15 m. The significant wave height inside the harbor was always higher than 1.5 m in some areas. This is in agreement with in situ observations.

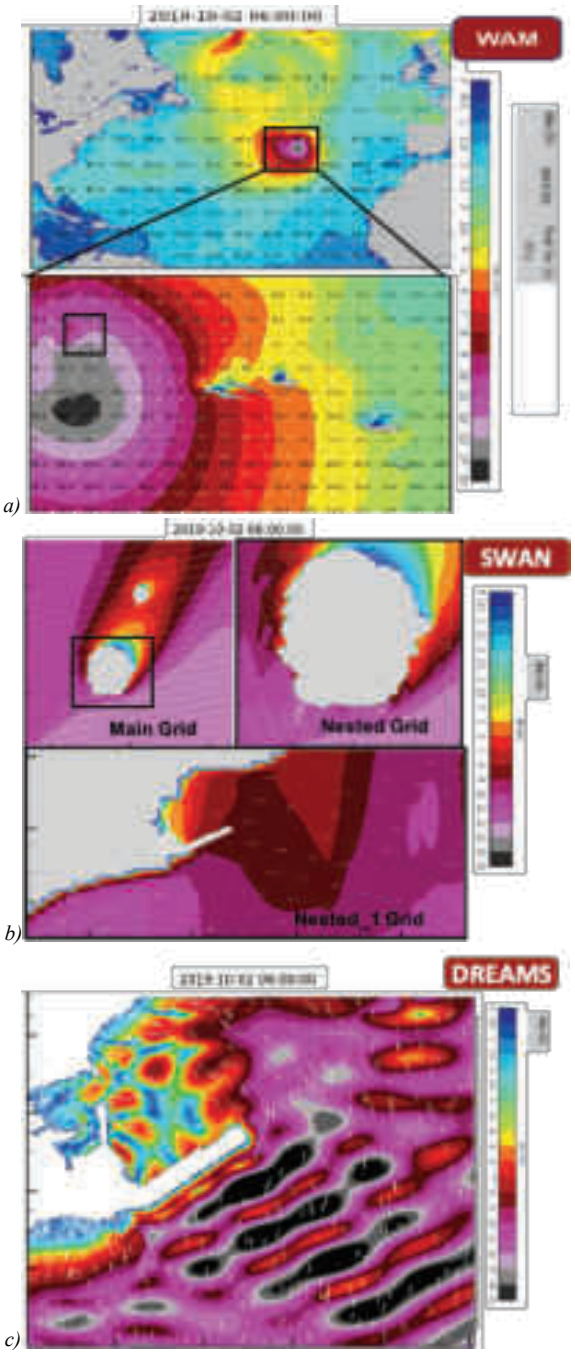


Fig. 4. Lajes das Flores port. Layouts generated by the system for the a) WAM, b) SWAN and c) DREAMS models on 2 October 2019, 6 am, Hs and θ.

3.3.2. Module II – Wave run-up and overtopping

Mean overtopping discharges, *q*, are estimated using the Neural Network tool NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), feeded with the wave characteristics' results, at the toe of each structure of the port, from DREAMS model, and considering their main geometric features. 13 cross-sections were chosen for this assessment. From the overtopping forecasts, a layout is generated for each forecasted time step (Fig. 5), where red circles with different diameters

are shown for each cross-section. The larger the circle, the higher the mean overtopping discharge. The maximum mean overtopping discharge is also indicated in the layout.

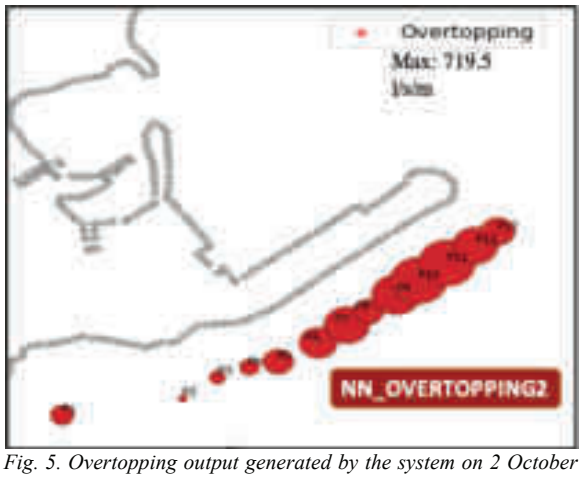


Fig. 5. Overtopping output generated by the system on 2 October 2019, 6 am.

The main breakwater was the most affected structure at Lajes das Flores port. At 6 am, q increased towards the head, reaching its maximum at section 11, just before the breakwater head. Q values varied between 22 l/s/m and 720 l/s/m over the main breakwater.

3.3.3. Module IV – Warning system

The maximum mean overtopping discharge forecasted for the case study for each time step at each cross-section of the structures is compared with established pre-set thresholds of *q*. These thresholds have been defined in close collaboration with the local authorities of Lajes das Flores and are based on existing EurOtop (2018) recommendations on tolerable wave overtopping. Fig. 6 provides an example of the layout generated by the HIDRALERTA system for 6 am, with overtopping forecasts and warning levels for each structural stretch.

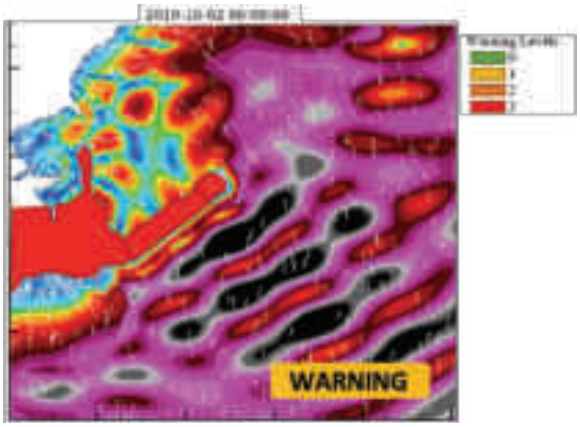


Fig. 6. Lajes das Flores port. Warning layout generated by the system on 2 October 2019, 6 am.

A red warning was issued for all the three considered zones: commercial quay and the area before the main breakwater, trunk and head of the main breakwater. Once more, this is in agreement with in situ observations. Note that these are only preliminary warnings, since module IV of the HIDRALERTA system is still being calibrated with past storms for Lajes das Flores.

4. CONCLUSION

Currently, the HIDRALERTA system is in operation for the ports of Praia da Vitória, S. Roque do Pico and Madalena do Pico, with all the necessary elements to issue real-time warnings. The present study included the development of this new prototype for Lajes das Flores Port, in order to simulate hurricane Lorenzo in one of the most affected ports in Azores. However, to ensure the reliability of the system for this last port, there are still some aspects of its validation that need to be improved with the collaboration of the local port authorities and the use of historical data. Through reporting of dangerous situations by local authorities, and their perception of existing risks, a better understanding of wave overtopping and flooding impacts may be achieved which will result in more reliable warnings.

Acknowledgements

The works related with the participation of M.I. Santos, M. Salvador and E. B. de Azevedo on the simulation of the application of HIDRALERTA System to the Port of Lajes das Flores, have been done under the framework of the ECOMARPORT (MAC/1.1b/081), with the financial support of 85% by the EU (FEDER, MAC 2014-2020), and 15% from the Regional Government of the Azores. The works of C.J.E.M. Fortes, M.T. Reis, L.V. Pinheiro, A.C. Zózimo and V. Serrazina have been developed under the framework of To-SEAlert, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 and BSafe4Sea, Ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017. The authors also acknowledge Portos dos Açores.

REFERENCES

Booij, N.; Ris, R.C. & Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geog. Res.*, C4, 104, 7649-7666.

Coeveld, E.M.; Van Gent, M.R.A. & Pozueta, B. (2005). *Neural Network: Manual NN_OVERTOPPING2.* CLASH. WP8,Rep.BV.

EurOtop (2018). *Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*.

Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*. PhD Thesis, IST-UL.

Persson, A. (2001). *User Guide to ECMWF Forecast Products*. ECMWF.

Poseiro, P. (2019). *Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port Areas: Development of a Model and Risk Assessment*. PhD. IST-UL.

Sabino, A.; Poseiro, P.; Rodrigues, A.; Reis, M.T.; Fortes, C.J.E.M.; Reis, R. & Araújo, J. (2018). Coastal risk forecast system. *Journal of Geographical Syst.,* 20(2), 159-184. https://doi.org/10.1007/s10109-018-0266-5

WAMDI Group (1988). The WAM Model - A third generation ocean wave prediction model. J. Physical Oceanography 18,1775-1810

Zelinsky D. A. (2019). National Hurricane Center Tropical Cyclone Report: Hurricane Lorenzo (AL132019). NOAA/NWS, 22 pp., www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL132019_Lorenzo.pdf.

Intertidal zone mapping using in-situ, local high-resolution and lower-resolution satellite remote sensing data

Bio, A. (1); Borges, D. (1); Azevedo, I. C. (1); Pinto, I. S. (1,2); Gonçalves, J. A. (1,3)

(1) Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research (CIIMAR/CIMAR), University of Porto, Edifício do Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, Avenida General Norton de Matos, S/N, 4450-208 Matosinhos, Portugal. anabio@ciimar.up.pt.

(2) Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Porto, Rua Campo Alegre 687, 4169 - 007 Porto, Portugal.

(3) Department of Geosciences, Environment and Spatial Planning, of Biology, Faculty of Sciences, University of Porto, Rua Campo Alegre 687, 4169 - 007 Porto, Portugal.

Abstract: Coastal zones are highly dynamic and vulnerable land-ocean interfaces of high ecological and socioeconomic importance, which need to be monitored for a sustainable use and management.
In the framework of the SWUAV project, which aims to map the intertidal zone in stretches of northern Portugal, UAV-based multispectral imagery and information derived from Sentinel 2 satellite data were used to map intertidal habitats and land cover. Supervised image classification was based on cover-specific spectral signatures of the NDVI, with training areas defined *in situ* for the UAV survey and based on the UAV-image classification for the satellite data.
The high-resolution multispectral UAV imagery was able to provide detailed information of intertidal cover types, distinguishing sand, mussels/rock, rock/barnacles/limpets and mixed algae areas, whereas the comparatively low-resolution (10 m) satellite data provided a rough assessment for these cover types. The methodologies considered can complement each other in coastal monitoring at different scales.

Key words: image classification, intertidal, land cover, NDVI, remote sensing.

1. INTRODUCTION

Coastal zones are important yet increasingly stressed and threatened land-ocean interfaces of high ecological and socio-economic importance. Intertidal zones play a particular role, in terms of coastal protection, dissipating wave energy, biodiversity, providing habitat, food and shelter for numerous organisms and supporting complex trophic webs, and natural resources, such as seaweeds (Borges et al. 2019).

Mapping and monitoring of the intertidal is essential to assess the state and dynamics of the ecosystems and allow their protection and management. *In-situ* observations are reliable sources of information, but also expensive and time consuming, and therefore generally restricted to a limited number of sampling sites and times, i.e. point-observations. Remote sensing has therefore been increasingly used for a (almost) non-invasive, cost-effective and efficient assessment of land cover, at different scales. Recent developments in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and miniaturized high-precision GNSS allow local high-resolution georeferenced airborne surveys that can cover areas of up to a few kilometres at relatively low cost (Gonçalves et al., 2018). Earth Observation (EO) satellite sensors, on the other hand, cover vast areas in regular intervals, with high temporal though low spatial resolution.

This study is part of the SWUAV project (swuav.ciimar.up.pt), which aims to map the cover of the intertidal zone in stretches of northern Portugal based on remote sensing data. Multispectral UAV and satellite imagery was used to map the main cover types of an intertidal area, using the normalized difference vegetation index (NDVI) for supervised classification techniques and *in-situ* observations for calibration and validation.

2. DATA AND METHODS

The study took place in an intertidal area near Vila Chã (41.29554°N /8.73701°W), in Northern Portugal (Fig. 1). The area covers 4604 m^2 and has a diversified cover with sandy patches and rocky outcrops, colonized with seaweed, mussels, barnacles and limpets.

On the 19th of May 2019, during spring low tide, the area was surveyed with a multirotor UAV, equipped with a MicaSense RedEdge multispectral camera (with Red, Green, Blue, NIR and Red Edge bands), providing images with a ground-sampling-distance pixel of 1.6 cm.

Ground-truth information for the image classification was obtained in *in-situ* surveys, where 0.5×0.5 m

squared frames, visible in the UAV images, were placed over patches of a given cover type, in a stratified random sampling scheme. Four dominant cover types were considered: Sand (S), Mussels/Rock (MR), Rock/Barnacles/Limpets (RBL) and Algae mixed (AM).

Sentinel-2 Multi-Spectral Instrument images for the study area were downloaded from the Copernicus Open Access Hub (scihub.copernicus.eu), based on two criteria: a sensing date close to that of the UAV survey, and a sensing date/time as close as possible to a low tide. Two level 2A image tiles were used. The first was taken on the 18th of May 2019, at 11:33h (low tide had been at 9:21h, with 0.5 m above CD). The second was taken on the 7th of June 2019, at 11:33h (low tide was later, at 12:31h, with 0.8 m above CD). The study area comprised 40 pixels of each satellite image, which had a spatial resolution of 10 m.

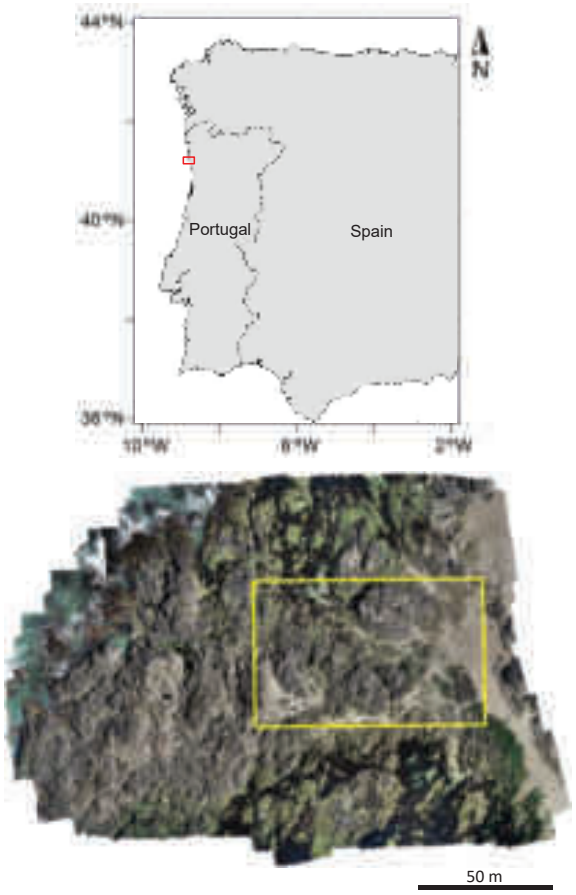


Fig. 1. Location of the study site (red rectangle) on the Northern-Portuguese coast (top) and high-resolution RGB orthophoto of the intertidal area (bottom), with delimitation of the high-resolution multispectral survey area (yellow rectangle).

The NDVI was calculated for UAV and satellite images, based on the respective Red and NIR bands, being NDVI = (NIR−Red)/(NIR+Red).

The supervised classification of the resulting NDVI maps took place in QGIS (version 3.8.2, QGIS Development Team, 2018), using the Semiautomatic Classification Plugin (version 6.3.1; Congedo, 2016). For the UAV imagery classification, three *in-situ* observed squares per cover type were used as training areas (Fig. 2) to determine class-specific spectral signatures. For the classification of the satellite images, however, these training areas were too small. Therefore, the UAV classification result was used to determine the dominant land cover for each satellite image pixel, and the most representative pixels for each cover type were used as training areas (Fig. 2). Spectral signatures of the training areas and classification results for the UAV and two satellite images were subsequently compared. The UAV classification accuracy was assessed using one additional independent ground-truth 0.5×0.5 m square area per cover type/class

3. RESULTS

UAV imagery provided very detailed information about land cover (Fig. 2). Overall classification accuracy was 57%, with a Kappa hat of 0.43. User accuracies varied per cover type, being 89% for the sand (S), 87% for the rock/barnacles/limpets (RBL), 21% for the mussel/rock (MR) and 19% for the mixed algae (AM) cover classes.

The May satellite image classification produced a map with a single class, Sand, whereas the June classification was able to discriminate between the four cover types/classes considered.

The spectral signatures of the UAV-classification training areas clearly distinguished between the cover classes, with mostly non-overlapping mean NDVI values (Table I). In terms of the satellite-based image classifications, the training areas (which correspond to a single pixel) also showed distinct, mostly non-overlapping NDVI signatures for the different classes obtained for the June data, with mean NDVI values quite similar to those of the UAV survey for S and AM, but lower for MR and AM. Mean NDVI for the training areas of the May satellite data were close to zero and often negative for all classes.

Comparing the UAV and June satellite .image classifications in terms of cover-class area, both resulted in similar relative areas for the MR and AM classes, while the UAV classification had higher S and lower RBL cover areas than the June satellite image classification (Table II, Fig. 2).

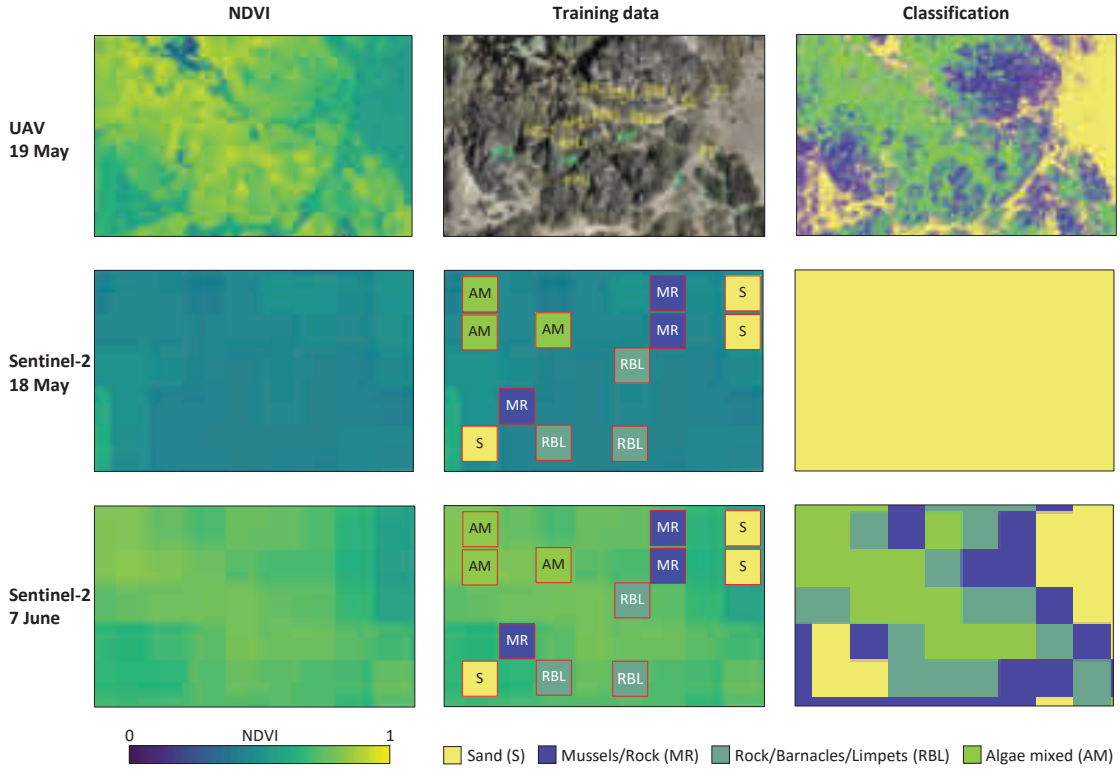


Fig. 2. Classification of the intertidal land cover: NDVI obtained for the UAV survey and for two Sentinel-2 images, the training areas used for image classification, and the classification results.

Table I. UAV and Sentinel-2 (S2) image classification training areas, with respective number (#) of pixels and mean NDVI for each of the three training areas used per cover class. Classes are Sand (S), Mussels/Rock (MR), Rock/Barnacles/Limpets (RBL) and Algae mixed (AM).

Class	Image	# Pixels	NDVI
S	UAV	1003/1100/1081	0.12/0.14/0.24
	S2 June	1/1/1	0.14/0.12/0.32
	S2 May	1/1/1	0.02/0.01/-0.02
MR	UAV	1038/1032/926	0.59/0.65/0.64
	S2 June	1/1/1	0.49/0.44/0.47
	S2 May	1/1/1	0.02/-0.03/-0.11
RBL	UAV	1069/1041/861	0.36/0.40/0.40
	S2 June	1/1/1	0.43/0.41/0.38
	S2 May	1/1/1	-0.08/-0.10/-0.11
AM	UAV	896/1046/1061	0.74/0.71/0.63
	S2 June	1/1/1	0.59/0.63/0.53
	S2 May	1/1/1	-0.06/-0.05/-0.10

Table II. UAV and Sentinel-2 (S2) image classification results, with number (#) of pixels and area for the classes Sand (S), Mussels/Rock (MR), Rock/Barnacles/Limpets (RBL) and Algae mixed (AM). The total area considered was 4604 m^2 for the UAV and 4000 m^2 for the satellite data.

Class	Image	# Pixels	Area (%)	Area (m^2)
S	UAV	5269784	29.3	1349
	S2 June	8	20.0	800
	S2 May	40	100.0	4000
MR	UAV	3807054	21.2	975
	S2 June	9	22.5	900
	S2 May	0	0.0	0
RBL	UAV	3849253	21.4	985
	S2 June	12	30.0	1200
	S2 May	0	0.0	0
AM	UAV	5058729	28.1	1295
	S2 June	11	27.5	1100
	S2 May	0	0.0	0

4. DISCUSSION

For the UAV survey, classification produced very detailed cover maps with a fair overall classification accuracy. The different levels of accuracy obtained for the different cover classes can be attributed to the more or less distinct class-specific spectral NDVI signature (e.g. the NDVI for S is particularly low) and to class-specific cover homogeneity/heterogeneity. Furthermore, image classification may be disturbed by shadow and glint effects.

The use of satellite images for intertidal studies posed some challenges. Sentinel-2 data for the study area are available in 5-day intervals, with images collected at a fixed time of the day. It is difficult to find images of a given area obtained during low tide (and with low or no cloud cover). Searching for good satellite imagery obtained close to our UAV survey date and during an as low as possible tide, the best we found were an image taken 1 day before the survey, 2 h and 12 min after a (spring) low tide, and another taken 19 days after, 58 min before a (less accentuated) low tide

The first, was clearly not suitable for our objectives, as its NDVI values suggest the area was largely covered with water (water has typically negative NDVI values). The tide was thus already too high to capture the intertidal bottom features. The second, had NDVI signatures similar to the UAV imagery and allowed discrimination of the different cover types. However, given the low resolution, only 40 pixels of the satellite image fell within the study area, making it difficult to identify 3 training areas (i.e. pixels) with a clearly dominant cover for each cover type (which is also the reason why no accuracy assessment was carried out). Given the spatial scale of intertidal cover variability, satellite pixels necessarily represent a mixture of cover types, which is reflected in the less distinct mean NDVI signatures, particularly for the mixed algae class which should have higher NDVI values. Furthermore, pixels were too large (100 m^2) to be classified based on the 0.25 m^2 squares surveyed in the field. We had to use the UAV image classification to determine the dominant cover class of each satellite image pixel, which is of course less homogeneous than a UAV image pixel. But, in spite of the low resolution and sub-optimal tide conditions, the classification of the satellite-derived June NDVI produced a reasonable, though rough, estimate of cover classes and cover areas.

5. CONCLUSION

This study demonstrates how semi-automatic classification of a simple index based on two spectral bands, the NDVI, calibrated with *in-situ* observations, can produce useful intertidal cover maps.

Unmanned aerial vehicles (UAV) equipped with high-resolution cameras or other sensors, are particularly useful for very detailed observation of small areas, whereas satellite imagery provides large-scale information for regional or larger areas. Working at different scales, in a way that the information is upscaled from *in-situ* observations, to high-resolution UAV and satellite imagery, intertidal land or species cover can be assessed at different scales, exploring the synergies between different observation methods.

Acknowledgements

This work was carried out in the scope of the project "SWUAV-Mapping the intertidal zone and assessing seaweed biomass using UAV images" (POCI-01-0145-FEDER-032233), supported by the POCI (Programa Operacional Competitividade e Internacionalização) and FCT through OE. This research was furthermore supported by national funds through FCT – Foundation for Science and Technology within the scope of UIDB/04423/2020 and UIDP/04423/2020.

REFERENCES

Borges D., Azevedo I., Pádua L., Adão T., Peres E., Sousa J.J., Sousa Pinto I., and Gonçalves J.A. (2019). Mapping seaweed beds using multispectral imagery retrieved by unmanned aerial vehicles. *Frontiers in Marine Sciences* Conference Abstract: XX Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM XX) . doi: 10.3389/conf.fmars.2019.08.00177.

Gonçalves, J.A., Bastos, L., Madeira, S., Magalhães, A., and Bio, A. (2018). Three-dimensional data collection for coastal management – efficiency and applicability of terrestrial and airborne methods. International Journal of Remote Sensing. doi: 10.1080/01431161.2018.1523591.

Congedo, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. doi: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.

QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org.

Estudo sobre a utilização do ECDIS na execução da navegação em águas restritas

Nepomuceno, G. (1); Conceição, V. (1, 2)

(1) CINAV, Portuguese Naval Academy, Lisbon, Portugal. pn.guilherme@gmail.com.

(2) Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Resumo: Os avanços tecnológicos que se têm registado na navegação marítima contribuem para o aumento da segurança, no entanto, a mesma tecnologia tem sido associada a erros críticos, causados pelo fator humano. Alterações nas interações entre o operador e os sistemas de apoio à decisão afetam os processos cognitivos do operador, como o conhecimento situacional e a capacidade de pensamento antecipado. Para melhor compreender o efeito das novas tecnologias no desempenho das equipas de navegação, a Escola Naval iniciou um estudo a bordo de navios da Marinha Portuguesa. Os *eye-trackers* são usados para recolher dados dos operadores do RADAR e do ECDIS durante os períodos de maior atividade na ponte do navio. Este artigo apresenta os resultados preliminares da análise do desempenho dos operadores ECDIS e seus processos cognitivos. Os resultados contribuem para melhorar o arranjo espacial da ponte, a interface do ECDIS, a organização da equipa e o treino do operador.

Palavras-chave: ECDIS; eye-trackers; segurança da navegação; movimento ocular; processos cognitivos.

INTRODUÇÃO

as últimas décadas temos vindo a presenciar vários anços tecnológicos no domínio marítimo, não só ra se alcançar uma maior eficiência operacional, as também para mitigar as causas, geralmente nhecidas, da maioria dos acidentes marítimos MO, 2006c). Segundo o plano estratégico da *ternational Maritime Organisation* (IMO), é rovado o uso da melhor tecnologia para ıpulsionar a melhoria contínua e a inovação na cilitação do tráfego marítimo em linha com o jetivo de um desenvolvimento sustentável (IMO, 15a, 2015b). Reconhece-se que as novas cnologias revolucionaram a navegação marítima e, ualmente, têm um grande potencial para aumentar a gurança na navegação (ALLIANZ, 2012). No tanto, a incorporação destas novas tecnologias no oio à navegação também trouxe consequências ıprevistas, contribuindo para práticas inseguras, ou esmo para acidentes ou incidentes (Dekker, 2014; MO, 2006b).

ários autores reforçaram a preocupação de que os tores humanos são a base dos acidentes marítimos erg, 2013; Butt et al., 2013; Grech, Horberry & oester, 2008; IMO, 2009a; Rothblum, 2000). gundo o relatório anual da *European Maritime fety Agency* (EMSA) entre 2011 e 2018 estiveram volvidos em acidentes ou incidentes marítimos 073 navios, de onde resultaram 665 navios com nos graves ou irrecuperáveis e 696 mortes em ementos da tripulação (EMSA, 2019).

presente estudo visa compreender o modo como as uipas de navegação realizam o seu trabalho, em rticular o operador do ECDIS, com recurso à utilização de *eye-trackers,* questionários e observações etnográficas, suportadas por gravadores de vídeo, de áudio e notas dos observadores. Pretende-se perceber o papel do operador do ECDIS na equipa de navegação, em navios da Marinha Portuguesa,

durante a prática de navegação em águas restritas, nomeadamente, na entrada e saída do porto de Lisboa. De todos os dados recolhidos, o presente artigo reflete apenas dados recolhidos com os *eye-trackers* referentes a cinco observações.

Com base nos dados recolhidos, tratamento e respetiva análise, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de soluções, nomeadamente, arranjo espacial da ponte dos navios, interface do ECDIS, organização da equipa de navegação e compreensão da relação entre o treino do operador do ECDIS e as funções desempenhadas. Estas soluções têm como objetivo conciliar o uso de tecnologia de apoio à navegação com práticas mais seguras, minimizando o trabalho e o erro humano.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Eye-Trackers

Eye-tracker são aparelhos eletrónicos que permitem conhecer a posição do olho do utilizador e o seu movimento ocular através da medição de alguns parâmetros. *Eye-tracking* é aatividade de medir o comportamento dos olhos, como por exemplo o sítio para onde o utilizador está a olhar ou o movimento do olho relativamente à cabeça (Hareide & Ostnes, 2018).

A Tabela I apresenta um resumo dos movimentos oculares observáveis com recurso aos *eye-trackers* (duração dos piscares de olhos, frequência dos piscares de olhos, duração das fixações, número de fixações e diâmetro das pupilas), os respetivos processos cognitivos e comportamentais associados e, ainda, os fatores que podem influenciar os movimentos oculares e consequentemente os processos cognitivos.

Tabela I. Resumo dos parâmetros observáveis pelos eye trackers os respetivos processos cognitivos e fatores de influência.



2.2. ECDIS

Para compreender o modo como o equipamento deve ser utilizado pelo operador, inserido na equipa de navegação, é preciso analisar a regulamentação geral, nomeadamente através das normas da International Maritime Organization (IMO, 1995, 1998 e 2006) e posteriormente compreender as normas da Marinha Portuguesa.
De uma forma genérica o ECDIS permite executar, com mais ou menos automatismos, todas as tarefas que eram tradicionalmente realizadas na carta náutica. Em águas restritas, para além de monitorizar a execução do planeamento de navegação introduzido no ECDIS, o operador do ECDIS tem de marcar pontos usando as mesmas linhas de posição (LDPs) que a carta em papel, para verificar a sua consistência. Deve ouvir os relatos do ON (Oficial Navegador) de modo a encontrar discrepâncias com a informação de que dispõe. Efetua relatos situacionais completos sobre a execução do planeamento, informações de anti-colisão e alterações de planeamento (EMA, 2008, Anexo F).

2.3. Fatores Humanos

Em qualquer operação marítima, o trabalho humano, a tecnologia e a organização estão relacionados e influenciam-se mutuamente, sendo três elementos sempre presentes. Sabemos que o erro humano está na origem de uma elevada percentagem de acidentes (Anderson, 2003; Rothblum, 2000). No domínio dos fatores humanos os processos de decisão são particularmente críticos. Frequentemente, o navegador está perante situações poucos claras, com informação incompleta ou imprecisa, objetivos indefinidos ou sujeitos a influência da elevada dinâmica da situação. Não obstante estes constrangimentos, o navegador e a sua equipa têm de tomar decisões céleres e adequadas à segurança da navegação.

Assim, o navegador deve assegurar que a sua equipa e os sistemas tecnológicos disponíveis na ponte providenciem um rigoroso panorama da situação externa e interna do navio. As decisões do navegador dependem da eficiente agregação da informação dos sensores e sistemas com a experiência e perceção dos membros da equipa. Através de processos cognitivos como a atenção, a perceção, o conhecimento situacional ou o pensamento antecipado, que abordaremos posteriormente, o cérebro humano vai transformar dados em informação útil, auxiliando o responsável pela tomada de decisão a clarificar o panorama.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de analisar os processos cognitivos do operador do ECDIS e de modo a compreender a forma como utiliza o equipamento e interage com a equipa de navegação, realizaram-se observações a bordo das pontes de navios de superfície da marinha portuguesa enquanto estes praticavam o porto de Lisboa.
As observações foram realizadas durante a prática de navegação em águas restritas por ser um ambiente complexo, com todos os equipamentos ligados, com uma organização específica e completa da equipa de navegação e com uma densidade maior de tráfego marítimo e proximidade a perigos.
A análise das normas e procedimentos estabelecidos para operação do ECDIS (IMO, Marinha Portuguesa e navio) permitem perceber como se pensou que o trabalho deveria ser feito. No entanto, através das observações nos navios em contexto natural, é possível compreender como é realmente utilizado o ECDIS.
Recolheram-se dados qualitativos (notas dos observadores, informação relativa ao planeamento e à organização interna do navio), dados quantitativos (referentes ao movimento do olho humano, como piscares de olhos, pontos de fixação, *saccades* e dilatação das pupilas) e três questionários distintos. Para recolher os dados quantitativos, recorreu-se aos *eye-trackers* (modelo Pupil Core, da marca Pupil-Labs).
Realizaram-se 5 observações, com uma duração média de 60 minutos. Após concluídas as observações nos navios da Marinha Portuguesa, obteve-se um conjunto de dados recolhidos pelos *eye-trackers*, constituídos por: dois vídeos das microcâmara laterais, cada um correspondente a um olho, que filmaram diretamente o globo ocular do participante e um vídeo da câmara *world*, que filmou o ambiente externo, com foco na direção do olhar do participante e os dados dos relativos aos movimentos oculares (duração e número de piscares de olhos, duração e número de fixações e diâmetro das pupilas);

vídeos provenientes das *action-cams*, colocadas estrategicamente em pontos que permitem visualizar toda a ponte do navio e as movimentações dos respetivos elementos (focando-se principalmente no navegador, no operador do ECDIS e no operador do RADAR); um ficheiro áudio resultante de um microfone colocado no centro da ponte e os questionários demográficos, SART e NASA-TLX, devidamente preenchidos por cada participante. Como complemento, obtiveram-se também fotografias de equipamentos considerados relevantes para o estudo, bem como os registos dos observadores.

Com base nos dados acima descritos, procedeu-se a uma análise mista, consistindo, na fase inicial, em analisar qualitativamente os vídeos da câmara *world*, das *action-cams*, dos ficheiros áudio e das notas dos observadores.

Resultaram de uma única observação 50gb de *raw data,* que foram processados no software Pupil-Player, cujo *output* vários ficheiros (*.csv*) com centenas ou milhares de entradas, com dados relativos ao número e duração dos piscares de olhos, ao número e duração das fixações e diâmetro das pupilas, que precisaram de ser estatisticamente validados e filtrados para análise, tendo sido criados *scripts*, com recurso ao MATLAB (2020), para auxiliar tanto na visualização gráfica dos dados como na sua análise estatística, facilitando o processo de validação.

Depois de corrido o *script* desenvolvido em MATLAB, resultaram de 36'24'' de uma das observações dados relativos a 902 piscares de olhos, 2471 fixações e 239479 diâmetros das pupilas. Realizaram-se testes estatísticos de distribuição normal de modo a aferir se poderiam ser realizados testes de correlação estatística ANOVA, tendo-se concluído que poderiam ser utilizados.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para analisar a correlação entre o nível de atenção do operador e a complexidade/tipo de tarefa, criaram-se duas situações: as pernadas, onde o navio segue estável em rumo e velocidade e as guinadas, que tem início quando o navegador efetua o relato das 1000jj e termina no final do controlo da guinada.

Testou-se a relação entre a carga de trabalho a que o operador é sujeito e a sua influência na frequência de piscares de olhos e diâmetro das pupilas para as pernadas e guinadas. Verificaram-se 27 piscares de olhos por minuto e uma média de 3,62mm de diâmetro das pupilas para as pernadas e 22 piscares de olhos por minuto e uma média de 3,62mm de diâmetro das pupilas para as guinadas. Através da realização de um teste estatístico ANOVA, verifica-se um p_{value}=0,0154 e $p_{value}\approx 0$ para a frequência de piscares de olhos e diâmetro das pupilas, respetivamente. Isto significa que as médias tanto das frequências como dos diâmetros são significativamente diferentes, o que permite afirmar que o operador é sujeito a uma maior carga de trabalho nas guinadas do que nas pernadas.

Testou-se a relação entre atenção do operador e a sua influência na duração de piscares e fixações para as pernadas e guinadas. Verificou-se uma média da duração de piscares de olhos e das fixações para as guinadas de 189ms e 162ms, respetivamente, e para as pernadas de 197ms e 155 ms, respetivamente. Através da realização de um teste estatístico ANOVA, verifica-se um p_{value}=0,0157 e p_{value}=0,0002 para a duração de piscares de olhos e duração das fixações, respetivamente. Isto significa que as médias da duração de piscares de olhos e das fixações são significativamente diferentes, o que permite afirmar que o operador é sujeito a uma maior carga de trabalho nas guinadas do que nas pernadas.

Para testar a correlação entre o nível de cansaço/atenção do operador e a duração da tarefa, dividiu-se a observação em dois intervalos: um primeiro intervalo com os 15 minutos iniciais e um segundo intervalo com os 15 minutos finais.

Testou-se a relação entre o cansaço do operador e a frequência e duração dos piscares de olhos. No intervalo inicial, o operador piscou os olhos com uma frequência de 24 piscares por minuto e uma duração média de 191ms. No segundo intervalo o operador piscou os olhos 25 vezes por minuto e com uma duração média de 196ms. Ao realizar testes ANOVA, obtém-se p_{value}=0,3932 e p_{value}=4095. Ao não ser possível rejeitar a hipótese nula, não é possível concluir que a diferença entre a frequência e a média de piscares de olhos é significativamente diferente, não sendo possível concluir com certeza que a diferença destes parâmetros entre estes intervalos afete com certeza o cansaço do operador ao longo da realização da tarefa.

5. CONCLUSÕES

Através dos testes de correlação efetuados, é possível verificar que quando o operador se encontra a realizar uma só tarefa (controlo da posição do navio), a carga de trabalho e a atenção variam consoante a posição do navio no planeamento e as interações dentro da equipa (dentro das 1000jj até ao controlo da guinada, a dinâmica da equipa é diferente). Os testes estatísticos apontam para uma evidência de que a dinâmica da equipa e as interações se alteram pela proximidade ao controlo da guinada.

O operador do ECDIS necessita de conhecer bem as suas funções, sendo necessária uma familiaridade com o equipamento, por forma a não perder tempo na procura de informação, auxiliando o navegador na tomada de decisão. Nas alturas do planeamento em que a atividade se intensifica e a decisão tem que ser tomada de forma informada e eficiente, é importante que a equipa esteja organizada de modo a facultar ao navegador toda a informação de que necessita para ter o panorama bem esclarecido, contribuindo para a redução da carga de trabalho.

Este estudo pretende, assim, compreender os processos cognitivos a que o operador do ECDIS é sujeito, contribuindo, através da análise combinada de todos os dados recolhidos, para a melhoria do arranjo espacial da ponte dos navios, para a interface do equipamento, para a organização da equipa de navegação e para a relação entre o treino do operador do ECDIS e a função desempenhada, otimizando as interações entre toda a equipa e o equipamento, aumentando, consequentemente, a eficiência e a segurança da navegação em águas restritas.

REFERÊNCIAS

ALLIANZ, G. C. (2012). Safety and Shipping 1912-2012.

Berg, H. P. (2013). Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety (revised). TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 7 (3), 343–352. https://doi.org/10.12716/1001.07.03.04.

Butt, N., Johnson, D., Pike, K., Pryce-Roberts, N. & Vigar, N. (2013). 15 Years of Shipping Accidents: A review for WWF. Shipping Accidents Report, 44 (0), 1–56.

Dekker, S. (2014). Safety Differently (Boca Raton, Ed.; Second edi). CRC Press.https://doi.org/10.1201/b17126.

Estado-Maior da Armada. (2008). INA 4(A): Condução da Navegação. Lisboa.

Grech, M. R., Horberry, T. & Smith, A. (2002). Human Error in Maritime Operations: Analyses of Accident Reports Using the Leximancer Tool. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 46 (19), 1718– 1721. https://doi.org/10.1177/154193120204601906.

IMO (1995) Resolution A.817(19) Recommendation on Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). IMO - Assembly.

IMO. (1998). Resolution MSC.86(70) Adoption of new and amended performancestandards for navigational equipment. IMO - MSC.

IMO. (2006b). MSC 82/15/2 The Role of the Human Element, Research into interaction with automated systems. IMO - MSC. London.

IMO. (2006c). MSC 82/INF.9 Role of the Human Element. IMO - MSC (Vol. 4). London.

IMO. (2009a). MSC 85/26 Add-1 Report of the MSC on its 18th session. IMO -MSC. London.

IMO. (2015a). High level action plan for the organization and priorities for the 2016-2017 biennium. IMO - Assembly (Vol. Resolution).

IMO. (2015b). Resolution A.1097(29) Strategic Plan for the organization, for the 6-year period 2016 to 2021.

Hareide, O. S. & Ostnes, R. (2017a). Maritime Usability Study by Analysing Eye-Tracking Data. Journal of Navigation, 70 (5), 927–943. https://doi.org/10.1017/S0373463317000182.

Hareide, O. S. & Ostnes, R. (2018). Validation of a Maritime Usability Study with Eye Tracking Data. Em Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (pp. 273–292). https://doi.org/10.1007/978-3-319-91467-1_22.

Rothblum, A. M. (2000). Human Error and Marine Safety. U.S. Coast Guard Research & Development Center, 1–9.

Three-dimensional survey in scale model tests of rubble-mound breakwaters. Laser scanning and Time of Flight methodologies

Lemos, R. (1); Santos, J. A. (2,3); Fortes, C. J. E. M. (1); Kerpen, N. B. (3)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. rlemos@lnec.pt.

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Lisbon, Portugal.

(3) Centre for Marine Technology and Ocean Engineering, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal.

Abstract: The assessment of damage evolution in scale model tests of rubble-mound breakwaters can be achieved by comparing eroded depths and volumes between consecutive surveys. This paper focuses on damage evolution of a model of a rubble-mound breakwater and on the novelty of the non-intrusive survey methodologies such as laser scanning and Time of Flight (ToF) techniques, based on point clouds, enabling the extraction of profiles and the calculation of eroded depths and eroded volumes. The final objective of this work is to evaluate the applicability of the estimation the number of displaced armour units, using a non-dimensional damage parameter based on the calculated eroded volume.

The paper will also describe the experiments conducted under the RODBreak, a project sponsored by the HYDRALAB+ Transnational Access Program, in which a stretch of a rubble-mound breakwater was built at the wave-current basin of the Leibniz University Hannover (LUH) to assess the structure behavior. Four scan surveys were conducted using a Faro Focus 3D laser scan, as well as a ToF sensor. Those surveys were carried out before and after two test series, in order to evaluate the eroded volume and profile evolution.

Key words: 3D surveying, breakwater, measuring techniques, stability.

1. INTRODUCTION

Under the scope of the HYDRALAB+ transnational access project, the so-called RODBreak project was conducted in the directional wave basin at the Marienwerden facilities of the Leibniz University Hannover (LUH). A stretch of a rubble-mound breakwater was built in the wave basin with a very gentle slope and an armour layer made of Antifer cubes, at the roundhead and adjoining trunk, and rock, at the rest of the trunk.

A set of scale-model tests was carried out to extend the range of wave steepness values analysed in wave run-up, overtopping and armour layer stability studies, with incident wave angles from 40º to 90º.

More details on the project results from all the types of measurements may be found in Santos et al. (2019).

One of the objectives of the present work is to characterize the damage at the head of the breakwater at the end of three different test series conducted in a physical scale model, based upon surveys carried out with two different non-intrusive 3D survey methodologies using a laser scan and a Kinect© motion sensor. Surveys conducted with a laser scan were used as the reference survey.

The survey after one of the test series was conducted both with laser scan and with the Kinect© sensor. A profile comparison between both techniques will be presented. The second and the third test series surveys, where severe damage was observed, were conducted with Kinect© and laser scan, respectively.

Nowadays, 3D surveys of physical scale models are performed by using laser scanning (Rigden & Steward, 2012; Molines et al., 2012; Puente et al., 2014), photogrammetric methods with photographic cameras (Hofland et al., 2014, Lemos et al., 2017) or with the Time of Fly (ToF) (Musumeci et al., 2018 and Sande et al, 2018).

The goal of those surveys is to obtain surface models of rubble-mound breakwaters, based on point clouds, which can be edited by a wide range of software, enabling the extraction of profiles and the calculation of eroded depths and eroded volumes.

Despite the great progress achieved lately in this research area, the survey of large 3D models, composed of artificial armour layer units, remains a challenge, as eroded depth is strongly affected by gaps between armour units, which can be wrongly computed as erosion. On the other hand, depending on the way the damage occurs, voids left by displaced armour units can be filled with other displaced units, leading to an underestimation of the eroded volume, as a result of a "self-healing" process.

The aim of this paper is also to evaluate the applicability of the estimation of the number of displaced armour units, using a non-dimensional damage parameter based on the eroded volume, when applied to armour layers composed of Antifer cubes.

2. MATERIALS AND METODS

2.1. The physical scale model

A stretch of a rubble-mound breakwater (head and part of the adjoining trunk, with a slope of 1(V):2(H)) was built in the wave-current basin of the LUH to assess the structure behaviour in what concerns wave run-up, wave overtopping and damage progression of the armour layer. The tests were conducted under extreme wave conditions (wave steepness of s = 0.055) with different incidence wave angles (from 40º to 90º). The armour layer consisted of Antifer cubes of 0.350 kg with a nominal diameter (Dn) of 0.051 m and of rock of 0.315 kg with a nominal diameter of 0.03 m. Antifer cubes weight corresponds to 17 tf armour units at a 1:35 model scale.

The trunk of the breakwater was 7.5 m long and the head had the same cross-section as the exposed part of breakwater. The model was 9.0 m long, 0.82 m high and 3.0 m wide. Figure 1 illustrates the physical scale model ready to be operated.



Fig. 1. Physical scale model.

2.2. Equipment

Two different techniques were used to measure armour layer damage in the tests. The first technique is based on the use of the Kinect© motion sensor. The Kinect© scans were made with the sensor moving along a curved rail, placed 2.0 m above the wave basin bottom.

The Kinect© is equipped with a depth sensor composed of an infrared projector and a RGB camera, which acquires 3-color components: red, green and blue.

The acquisition of depth values by the Kinect© is determined by the ToF method, where the distance between the points of a surface and the sensor is measured by the time of flight of the light signal reflected by the surface. In other words, ToF imaging refers to the process of measuring the depth (distance between the sensor and the object) of a scene by quantifying the changes that an emitted light signal encounters when it bounces back from objects in a scene.

The second technique is a laser scan (Faro Focus 3D) survey of the armour layer envelope, which established the reference for the measurements made with the Kinect© sensor. Figure 3 illustrates the equipment used to evaluate armour layer damage.

Regarding the test conditions, tests were conducted with irregular waves, reproduced accordingly to a Jonswap spectrum with classical shape. Table I summarizes the test parameters of the three test series analyzed in the present paper, where d is the water depth, Hm0 is the spectral significant wave height, Tp is the spectral peak period, measured in front of the wave generator. The angle of wave attack, β, is defined at the toe of the structure as the angle between the direction of the waves and the perpendicular to the breakwater axis. The directional spreading is characterized by the directional spreading width (σ).

Tests T17-T20 surveys were conducted both with Kinect and laser scan. Tests T35-T39 and Tests T64-T68 were conducted with Kinect© and laser scan, respectively.

Table I. Test parameters.

Test	d (m)	Hm0 (m)	Tp (s)	β (º)	σ (º)
T17	0.60	0.100	1.19	65	0
T 18		0.150	1.45		
T 19		0.175	1.57		
T 20		0.200	1.68		
T 35	0.60	0.100	1.19	40	50
T 36		0.150	1.45		
T 37		0.175	1.57		
T 38		0.200	1.68		
T 39		0.250	1.88		
T 64	0.68	0.100	1.19	40	50
T 65		0.150	1.45		
T 66		0.175	1.57		
T 67		0.200	1.68		
T 68		0.250	1.88		

3. RESULTS

This section presents an overview of the model at the end of each test series, as well as of the scans before and after the test series illustrating erosion and deposition. The estimation of the eroded volume and of the non-dimensional damage parameter based on the eroded volume is also presented. Figure 2 presents the location of the three cross sections to be characterized. Figure 3 shows the comparison between the surveys conducted with the laser scan and the Kinect© sensor before Test T17, for seaward section, showing that the two methodologies revealed a good agreement. The average and maximum differences were 0.015 m and 0.053 m, respectively.

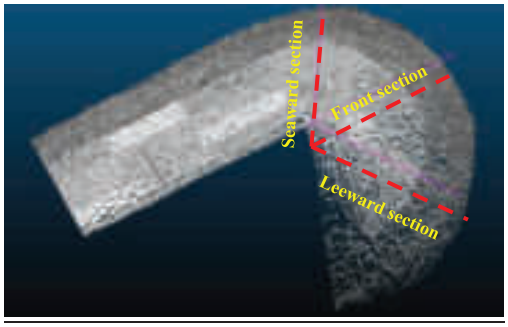


Fig. 2. Laser scan survey. Location of the profile sections.

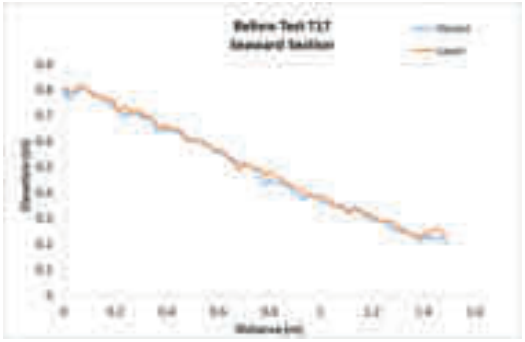


Fig. 3. Profile surveys with laser scan and with Kinect© sensor.

During test series T17-T20, an important number of movements were detected, as well as a small number of armour units removed from the inner section of the roundhead. Using the Kinect© sensor, damage was evaluated by the erosion ratio resulting from armour unit rearrangements by computing the ratio of points corresponding to erosion (red areas) over the total number of points (Figure 4).The erosion ratio computed after test T20 was of 0.09.

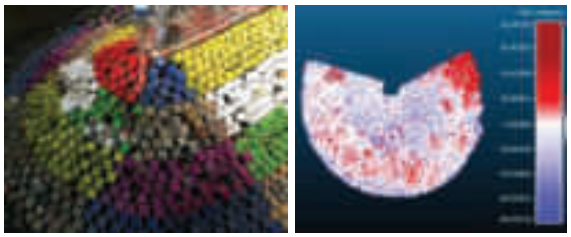


Fig. 4. Model after test T20 and armour layer eroded depth after test T20, in mm (Red - erosion; Blue - deposition).

Test series T35-T39 and T64-T68 presented more severe damage and damage evaluation was based on the eroded volume. Surveys during test series T35-T39 revealed important damage at the leeward section of the roundhead, around the still water level, with exposure of the Antifer cubes of the inner layer (Figure 5).

Regarding test series T64-T68, conducted with a higher water depth, it was also observed severe damage, exposing the breakwater core around the sea water level (Figure 6).



Fig. 5. Left: Model after test T39. Centre: Roundhead scanned with Kinect© sensor after test T39. Right: Armour layer eroded depth (in mm) (Red - erosion; Green - deposition).



Fig. 6. Left: Model after test T68. Center: Roundhead scanned with the laser scan after test68. Right: Armour layer eroded depth (in m) (Blue - erosion; Red - deposition)

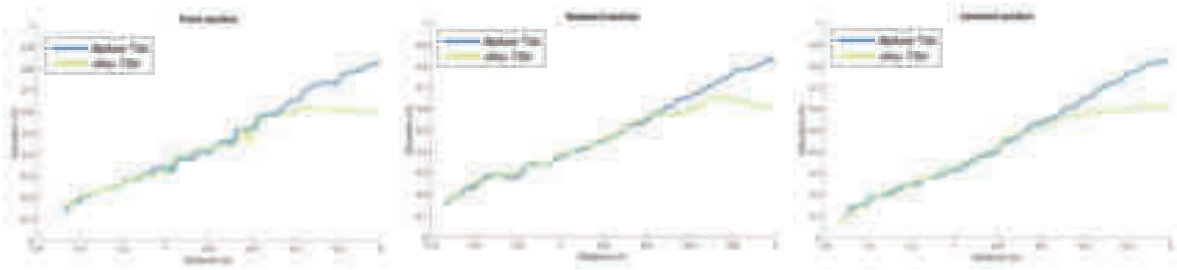


Fig. 7. Profile sections after test T68.

Table II presents the local erosion volumes from the roundhead, obtained from a 1 mm grid. The ratio between the computed eroded volume of the most damaged area (local damage) and the volume of a single armour unit enabled the determination of a non- dimensional 3D parameter, which reflects an approximate number of displaced units: Estimated displaced units = (Eroded volume*(1-Porosity)) / Armour Unit Volume.

Table II. Damage at the end of test T39 and test T68.

Test	Survey method	Local eroded volume (dm^3)	Displaced units	
			Estimated	Counted
T35-39	Kinect	7.91	35	37
T64-68	Laser scan	9.13	41	50

Despite some underestimation, the displaced units estimation based on the localized eroded volume, conducted with both survey methods, converged with the counted displaced armour units. Test series T64-T68 discrepancy can be justified by the type of damage occurred, where the displaced units are quite mixed, some of them occupying the voids left by other displaced units. The difficulty on finding a suitable grid step for armour layers of high porosity also contributed for the discrepancy found in both test series.

4. CONCLUSIONS

This paper described the 3D survey of a physical scale model of a breakwater, conducted during the RODBREAK TA-project using innovative, non-intrusive methodologies as a laserscan and a Kinect© sensor. The comparison between those survey methodologies revealed a good agreement, with an average error of 0.015 m. Displaced units estimation using the local eroded volume converged with the counted displaced armour units, when applied to high damage stages. Armour unit displacements occupying the voids left by previous armour units displacements can lead to some underestimation of the number of displaced armour units.

The results from the present work, suggest that both sensors can be used by laboratories and research groups to identify different damage stages.

The use of a non-dimensional damage parameter based on the eroded volume to estimate the number of armour layer displaced units seems to be easily applicable. Nevertheless this work points out to the need of performing more experiments in order to find the more suitable grid step accordingly to the armour layer porosity.

Acknowledgements

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation Programme under grant agreement No. 654110, HYDRALAB+.

The authors also acknowledge the scientific support of FCT through projects "BSAFE4SEA – Breakwaters SAFEty control through a FORecast and decision support SystEm Analysis" and "To-SEAlert – Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system

REFERENCES

Hofland B., Disco M. & Van Gent M.R.A. (2014) - Damage characterization of rubble mound roundheads. Proc. of CoastLab 2014, Varna, Bulgaria.

Lemos R., Santos J.A. & Fortes C.J. (2017) - Rubble mound breakwater damage assessment through stereo photogrammetry in physical scale laboratory tests. RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agua, Taylor and Francis. http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23863781.2017.1381455.

Molines J., Herrera M.P., Perez T.J., Pardo V. & Medina J.R. (2012). Laser scanning technique to quantify randomness in cube and cubipod armour layers. Proc. of CoastLab 2012, Ghent, Belgium.

Musumeci R., Moltisanti D, Foti E. & Battiato S. (2018). 3-D monitoring of rubble-mound breakwater damages. Measurement, 117 (March 2018), 347-364. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.020

Puente I., Sande J., González-Jorge H., Peña E., Maciñeira E., Martínez-Sánchez J. & Arias P. (2014). Novel image analysis approach to the terrestrial LiDAR monitoring of damage in rubble mound breakwaters. Ocean Eng., 91,273-280.

Rigden T. & Steward T. (2012). Use of 3D laser scanning in determining breakwater damage parameters. CoastLab 2012, Ghent, Belgium.

Sande J., Peña E., Neves M.G., Lemos R., Figuero A., Reis M.T., Alvarellos A. & Rabuñal J. (2018). Application of scanning techniques for damage analysis in rubble mound breakwaters. CoastLab 2018, Santander, Spain.

Santos J.A., Lemos R., Weimper J., Gronz O., Hofland B., Sande J., Peña E., Reis M.T., Fortes C.J., Figuero A., Bornschein A., Kerpen N., Pedro F., Coimbra M., Körner M., Van den Bos J., Dost B., Carvalho R., Alvarellos A. & Pohl R. (2019). RODBreak - Wave run-up, overtopping and damage in rubble-mound breakwaters under oblique extreme wave conditions due to climate change scenarios. Data Storage Report. https://doi.org/10.5281/zenodo.3355657".

Validación de un sistema ILS aeronáutico con técnicas hidrográficas RTK

Espinosa, S. (1); Terrón, J. A. (2)

(1) Célula de Seguimiento de Operaciones, Mando de Operaciones (MOPS). sespinosa@fn.mde.es.

(2) Escuela de Hidrografía, Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM). jtorgar@fn.mde.es.

Abstract: La aplicación de técnicas hidrográficas en otras disciplinas de la ingeniería es una posibilidad que se ha generalizado en los últimos años gracias a la mejora de la resolución y de la precisión del equipamiento empleado. Obviamente, la mayor parte de estas aplicaciones están relacionadas con el medio marino, pero hay otros campos distintos en los que la elevada precisión del posicionamiento RTK también puede resultar de utilidad.
El artículo describe las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en un vuelo con un reactor Harrier de la Armada Española que sirvieron para demostrar que la altimetría RTK utilizada en hidrografía para la reducción de sondas por altura de marea es una técnica apropiada para validar un sistema ILS (Inertial Landing System) de aproximación a un aeropuerto. El diseño y la instalación y puesta en marcha de los equipos fueron realizados por personal de la Escuela de Hidrografía del IHM.

Keywords: ILS, OACI, operaciones aéreas, RTK.

1. INTRODUCCIÓN

El ILS (Instrumental Landing System) es en síntesis un sistema de radiofrecuencia que permite a una aeronave efectuar una aproximación a un aeropuerto en condiciones de visibilidad que de otro modo no se le permitiría. Se comenzó a utilizar ya en 1928, y ha ido evolucionando como sistema oficial de aproximación aeronáutica hasta nuestros días.

Consta de tres sistemas en tierra (un array de antenas que emiten en frecuencias de UHF, normalmente situado a unos 300 metros de la pista, una antena emisora adicional que marca el punto de aterrizaje, llamada glidepath y finalmente un conjunto de tres antenas beacon que transmiten al avión las sucesivas distancias a la pista a medida que el avión se aproxima), así como de un sistema a bordo de procesado y presentación de la posición horizontal y vertical del avión respecto de la senda que debe seguir para aterrizar con éxito.



Fig. 1. Componentes de un sistema ILS. De arriba abajo y de izquierda a derecha: arrays de tierra, glidepath y pantalla de presentación en la aeronave.

En el año 2016 la Flotilla de Aeronaves de la Armada española solicitó de la Escuela de Hidrografía apoyo técnico para estudiar la viabilidad de documentar mediante un procedimiento de toma y procesado de datos la certificación de un equipo ILS montado a bordo de los aviones Harrier AV8 PLUS de la 9ª Escuadrilla de Aeronaves. La razón es que el modelo que se adquirió en su día para estos reactores no estaba certificado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), autoridad nacional encargada de su homologación, y por tanto, no está autorizado su uso operativo. Esto limita en muchas ocasiones las misiones de estos aviones, ya que deben suspender algunos vuelos cuando no disponen de aeropuerto alternativo con visibilidad suficiente para hacer una aproximación en visual.

Una vez analizado el problema planteado, y en particular los requisitos de precisión en posición y altura exigidas a un sistema ILS por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), se propuso al INTA un planteamiento técnico teóricamente simple, basado en comparar los datos obtenidos en una aproximación a un aeropuerto por dos sistemas independientes:

- El ILS, que es el objetivo de interés.
- Un sistema "vértice" más preciso que el ILS tanto en el plano XY (posición) como en el plano Z (altura), y por tanto referencia válida para efectuar la comparación.

El análisis de la separación de los datos del ILS a los tomados con el sistema más preciso establecería, en términos cuantitativos, si el equipo funciona en los márgenes de precisión definidos por la OACI.

El equipamiento GPS con correcciones diferenciales RTK (Real Time Kinematic), capaz de detectar las

variaciones del nivel del mar por el efecto de la marea, ya se había incorporado por entonces a los procesos de adquisición de datos en los levantamientos hidrográficos[1]. Como es sabido, estos equipos tienen capacidad para recibir y grabar posiciones en las tres coordenadas del espacio con una precisión nominal de 2 cm en el plano horizontal y 10 cm en el vertical a una distancia adecuada de la base, es decir, varios órdenes mayor que la exigida por la normativa internacional para los ILS. *(Valdés et al, 2012)*. Puede actuar por tanto como nuestro sistema "vértice".

Antes de terminar esta introducción, cabe señalar que la aviación civil incluyó hace años las técnicas de posicionamiento GPS como instrumental válido para la navegación en tránsito[2]. Ya más recientemente se ha comenzado a incorporar el GPS al instrumental de aproximación en sustitución del ILS mediante el aumento de las precisiones en altura a través de correcciones diferenciales satélite que alcanzan las requeridas por la normativa internacional, como es el caso de los Airbus A380 y modelos posteriores con correcciones EGNOS *(Azoulai et al, 2009)*, o bien mediante el concepto GBAS (Ground Based Augmentation System), incorporado inicialmente por Boeing, con estaciones situadas en tierra que transmiten las correcciones vía radio a las aeronaves en aproximación *(Pecos, 2016)*.

La principal novedad del método que aquí se expone no es otra que aplicar las precisiones hidrográficas a la aeronáutica, ya que tanto los sistemas descritos (GBAS, EGNOS) como el instrumento que pretendemos analizar (el ILS) tienen exigencias en precisión mucho menores que las del equipamiento RTK hidrográfico. En efecto, las precisiones requeridas para una aproximación ILS estándar de categoría 1, en la que se incluye el equipo que montan los Harrier, están especificadas en el Anexo 10 del volumen 1 del Convenio Internacional de la ICAO, y son 16 metros en horizontal y 6 metros en vertical al 95% de probabilidad. Muy alejadas, por tanto, de las precisiones centimétricas del RTK hidrográfico.

En base a este marco teórico se presentó para su aprobación al INTA el proyecto de unas pruebas experimentales en vuelo, que incluían la instalación provisional de un receptor RTK a bordo de un Harrier para efectuar una serie de aproximaciones con el ILS en el aeropuerto de Rota y comprobar la validez del planteamiento.

Al ser un equipamiento ajeno a la aeronave, los requisitos de seguridad obligaron a presentar un proyecto técnico específico para el vuelo experimental, en el que se exigieron de forma detallada características del equipamiento, ubicación a bordo, características de la alimentación eléctrica portátil, descripción del vuelo y cualificación específica del piloto.

Finalmente, tras una inspección final *in situ* de personal del INTA, el vuelo se autorizó y se llevó a cabo el 20 de julio de 2016.

2. MÉTODO

La hipótesis formulada es que el equipo ILS es válido para realizar una aproximación de precisión de categoría 1. Para demostrarla bastaba con comparar las lecturas del equipo tanto en el plano horizontal como vertical efectuando una serie de aproximaciones ILS en el vuelo experimental y midiendo de forma simultánea con un sistema de posicionamiento RTK que consideraremos como medida verdadera.

Se describen a continuación los pasos seguidos para conseguir el objetivo.

En primer lugar, se calculó un punto con precisión geodésica en las proximidades de la pista de aterrizaje de la Base Naval de Rota, necesario para ubicar la base para la emisión de correcciones diferenciales RTK durante la fase de vuelo:



Fig. 2. Ubicación de la base en las proximidades de la pista.

En segundo lugar, se procedió a la instalación de los equipos a bordo del avión. Las correcciones diferenciales se enviaron mediante telefonía móvil con modem GSM de IP fija, de mucho menor tamaño y consumo que los sistemas de radio enlace. La alimentación a bordo del avión tanto al rover como al modem se hizo a través de una batería comercial de 20000 mAH con las conexiones adaptadas.

Como curiosidad, comentar que por lo reducido del espacio disponible, el equipo receptor lo llevó el piloto en el bolsillo del mono de vuelo. La batería de alimentación del equipo receptor, antena y modem y antena de telefonía móvil receptora de las

[1] *Publicación C-13 OHI, 2011.*

[2] *Publicación Convenio Internacional de Navegación Aérea ICAO, 2006.*

correcciones RTK se ubicaron en un compartimento de planos de la cabina del avión.



Fig. 3. Pruebas en tierra previas al vuelo de pruebas. Se aprecia en la imagen la ubicación de la antena en la cabina.

En tercer lugar, se efectuó la primera fase de la prueba de vuelo, con el avión en pista durante más de 30 minutos, grabando a una frecuencia de un dato por segundo con el objetivo de evaluar la precisión del sistema. Se construyó una variable DIFF_DIST calculando la distancia de las sucesivas posiciones obtenidas a un punto conocido de la pista y restando distancias consecutivas dos a dos. De este modo, se pudo valorar la precisión del equipo en los tres ejes simultáneamente, dando los siguientes resultados que indican que la precisión del sistema en las tres coordenadas del espacio fue del orden de 2,5 cm el 95% de las veces:

Estadísticos

DIFF_DIST

N	Válidos	1858
	Perdidos	1
Media		,0003825
Mediana		,0001548
Moda		-,21154[a]
Desv. típ.		,01140585
Asimetría		4,012
Error típ. de asimetría		,057
Curtosis		285,852
Error típ. de curtosis		,114
Mínimo		-,21154
Máximo		,28584
Percentiles	2,5	-,0103625
	97,5	,0155822

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Fig. 4. Evaluación preliminar de la precisión del sistema con el avión parado en pista.

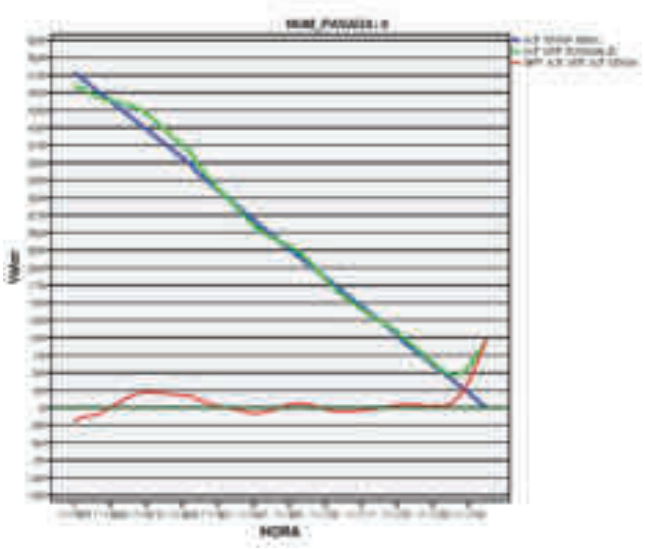
En cuarto lugar, se efectuaron las pruebas en vuelo. El piloto realizó cinco pasadas, siguiendo la senda marcada por el ILS, y grabando simultáneamente las posiciones del GPS rover a una frecuencia de un dato por segundo.

Como el sistema ILS no tiene posibilidad de grabación digital, se instaló una cámara "gopro" enfocando al indicador y a la hora del GPS de a bordo para poder después elaborar un archivo digital de hora y separación vertical y horizontal mediante el visionado del video.

Para la elaboración de los gráficos de resultados se segmentó el archivo de datos obtenidos eligiendo los minutos donde el avión estuvo más próximo al centro del cono del ILS con el objetivo de acotar el procedimiento de visionado del vídeo y comparar mejor los resultados.

En cuanto al procesado de datos, en síntesis se aplicó la siguiente metodología. Como primer análisis se utilizó como referencia la recta que determina el centro del cono de la senda ILS. Su determinación geométrica se efectuó con dos puntos de la reseña del ILS del aeropuerto. Posteriormente se calcularon sus proyecciones sobre los planos XY y XZ. Las distancias horizontales y verticales de las posiciones grabadas por el rover son de este modo los valores de separación horizontal y vertical sobre la senda ideal del ILS que el piloto procuró seguir durante las cinco pasadas. Cabe señalar que como la reseña del ILS refería las alturas ortométricas al modelo EGM96, se aplicó una conversión mediante un algoritmo de transformación *(Karney, 2013)* para referir todas las medidas elipsoidales del GPS y ortométricas de la reseña a alturas ortométricas aplicando el modelo EGM2008-REDNAP.

Se presentan a continuación los resultados gráficos de separación vertical del GPS rover del avión respecto de la senda ideal durante dos de las pasadas una vez aplicada la metodología descrita. A falta de representar los resultados de separación de la cámara "gopro", se puede comprobar que las trayectorias seguidas por el avión en ambas pasadas grabadas con el rover se aproximan mucho a las de la senda del ILS que el piloto pretendía seguir durante el vuelo.



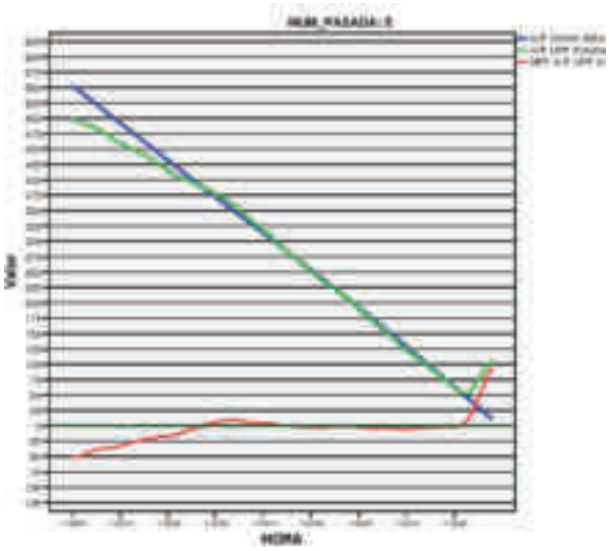


Fig. 5. Pasadas 4 y 5. Separación vertical del avión respecto de la senda central marcada por el ILS de Rota.

3. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las precisiones exigidas por la OACI para los sistemas ILS, se concluye que las técnicas hidrográficas de altimetría RTK son un instrumento válido para la certificación de este tipo de equipos aeronáuticos.

Los resultados del vuelo experimental descrito en este artículo demostraron, además, que tanto el seguimiento de la señal GPS como la recepción a bordo del avión de las correcciones diferenciales mediante telefonía móvil fueron óptimas, y no estuvieron afectadas en ningún momento por los condicionantes específicos de las pruebas.

Las precisiones que en aeronáutica se pueden alcanzar con esta técnica de posicionamiento hidrográfico son varios órdenes mayores que las de los sistemas análogos utilizados hoy día en aviación civil, por lo que podrían ser de interés para otras aplicaciones distintas a la expuesta que requieran mejores requisitos de posición en vuelo.

BIBLIOGRAFIA

ALIU, B. (2006). Convenio Internacional de Navegación Aérea (Edición española). Nueva York: OACI.

AZOULAI, L. y LEINEKUGEL, R. (2009). Experimental flight tests with EGNOS on A380 to support RNAV LPV operations. Procceedings of the 22nd ION GNSS, 1(1), 1203-1215.

Infraestructura de datos espaciales de Euskadi. Documentación geodésica. Análisis de las precisiones GNSS-RTK en función de las distintas soluciones (2010). Descargado el 21 de noviembre de 2016 de http://b5m/gipuzkoa.eus/web5000/docu/geodesia/AnalisisGNSS-RTKGipuzkoa2009.pdf.

KARNEY, C. (2013). Algorithms for geodesics. Journal of Geodesy, 87(1), 43-55.

PECOS, R. (2016). El sistema GBAS de aproximación de precisión. Hispaviación, 26(1), 3-5.

SALGADO, H., ZAPARYAB, M. y FREITAS, F. (2011). Manual de Hidrografía (Edición española). Mónaco: Bureau Hidrográfico Internacional.

VALDÉS, M., CANO, M.A., PASCUAL, M. y GARCÍA-CAÑADA, L. (2012). Análisis de estaciones permanentes GNSS en la Península Ibérica. Revista de geodesia y geofísica del IGN, 84(1), 12-21.

.

Wave energy assessment in Portugal potential locations for OWC installation

Anastas, G. (1); Pinheiro, L. V. (1); Fortes, C. J. M. E. (1); Santos, J. A. (2)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. ganastas@lnec.pt.

(2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa.

Abstract: This work aims to determine the exploitable wave energy resource at six potential sites, located in the Azores, Madeira and Sines breakwater city harbours. For that purpose, the third-generation wave model SWAN is used to estimate the sea-wave conditions over the last 40 years. Boundary conditions of the sea states and wind fields are provided by the climate reanalysis datasets (ERA5). Using those results as inputs to the SWAN model, the sea-states were propagated shoreward, in order to estimate and analyse the wave climate conditions in the regions of interest. By combining the average energy flux per unit-length of wave front and the probability of occurrence of each sea state, the average exploitable annual energy per unit length of wave crest can be computed. The variability of this energy flux is described, since it is of fundamental importance for the efficiency of the Wave Energy Converters (WEC).

Key words: Wave Energy Converter, Oscillating Water Column, SWAN, Exploitable Energy

1. INTRODUCTION

In the last decades, the increase in the need for renewable energy sources has led to a steep increase in the research and development of Wave Energy Converters (WEC) with the aim of satisfying the growing demand for clean and renewable energy.
Its predictability, seasonal stability, low visual impact, and the overall high energy carried by ocean waves (Clément *et al.* 2002) make the possibilities for this energy exploitation to exceed the expectation in wind or solar energy for electrical production. For the exploitation of the wave energy resources, various technological solutions exist. In this study we are considering the introduction of an Oscillating Water Column (OWC) within the trunk of a breakwater. The design and construction of the structure are the most critical issues (not considering the air turbine technology), in what concerns efficiency, environmental impact and financial viability of the OWC technology, which uses waves to compress and expand air so as to rotate an air turbine, which in turn produces electricity.
The installation of WEC nearshore has often been dismissed due to the lower gross energy densities without further consideration of the differences between the characteristics of offshore and nearshore wave energy resources. However, a simple scaling of the wave climate inadequately describes the nearshore wave climate. A better representation is required to correctly assess the nearshore wave energy resource potential. With the integration of the plant structure into a breakwater, (Reis *et al.* 2015) comes several advantages like the fact that construction costs are shared, that the access for construction, operation and maintenance are simplified, and that it doesn't produce extraenvironmental impact. The objective of this paper is to establish the wave climate at six chosen spots in Portugal through a numerical model using SWAN (Booji et al. 1999) which is a third-generation wave model, developed at Delft University of Technology, that computes random, short-crested wind-generated waves in coastal regions and inland waters. Although similar works have already been performed (Azevedo & Gonçalo 2005, Matos 2015, Rusu 2014, Rusu & Guedes Soares 2012), the present work considers a much longer period and introduces the concept of exploitable energy for this specific WEC technology.

2. EXPLOITABLE WAVE ENERGY ASSESSMENT - METHODOLOGY

The wave power density P is the rate at which the wave energy per unit length of wave crest is transmitted in the direction of wave propagation. Considering the deep-water approximation:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} TeHs^2 \qquad (1)$$

where ρ is the seawater density, g the acceleration of gravity, Hs the significant wave height and Te the wave energy period. The significant wave height and the wave energy period are computed from the spectral moments:

$$Hs = 4\sqrt{m_0} \quad \text{and} \quad Te = \frac{m_{-1}}{m_0} \qquad (2)$$

where the n^{th} order spectral moment is defined as:

$$m_n = \int_{-\infty}^{+\infty} f^n S(f) df \qquad (3)$$

As the minimum water depth at the points of interest is about 30m, in order to fit within the deep-water approximation (h > L/2), we are assuming that the wavelength (L) of the incoming waves do not exceed 60m. Sea waves are often characterized in terms of significant wave height Hs and either peak period (Tp) or mean period (Tz). Considering that the specified period output of the SWAN model is Tp, it can be assumed that:

$$Te = \alpha Tp \quad (4)$$

The coefficient α depends on the shape of the wave spectrum. Since the JONSWAP spectrum with a peak enhancement factor of γ =3.3 has been chosen for the SWAN simulation, α=0.90 and Te=0.9Tp (Cornett 2008). This assumption introduces some uncertainty into the power estimation. However, as P is proportional to $TeHs^2$, errors in period are less crucial than errors in significant wave height. The wave energy flux along a linear feature depends on the wave power density and on the angle between the wave direction and the orientation of the line crossed by the waves (Electric Power Research Institute, 2011). The wave energy flux across a linear feature is then given by:

$$P_{\varphi} = P\cos(\varphi) \quad (5)$$

In which P is the incoming wave power density given by eq. (1) and φ is the angle between the wave direction and the perpendicular to the breakwater as described in Figure 1.

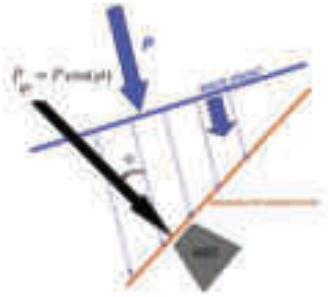


Figure 1. Wave energy flux across a line parallel to the breakwater orientation.

It is also necessary to consider the effect of the resource variability on performance. Non-linearities in device's hydrodynamics and the geometry constraints of the electro-mechanical plant do induce a power level threshold above which the incoming energy is unexploitable and it would be appropriate to disregard such sea-states (Cahill & Lewis 2011). This threshold obviously depends on the device technology/design, so there is no definitive value for it. Considering the range of the overall average of wind-energy converter load factors (between 25% and 50%) it appears that a reasonable value for it may be four times the average incident wave power (Folley & Whittaker 2009). This new representation of the wave energy resource is called the exploitable wave energy resource since it is more closely related to the amount of wave energy exploitable by the WEC. Even if it is assumed that this concept provides a more rigorous estimation of the recoverable energy for wave energy converters, the threshold value must be refined by carrying out large scale tests on the final selected device.

3. MODELING THE NEARSHORE CLIMATE

3.1 Paradigm definition:

A third-generation spectral wave model is used to propagate the wave climate from offshore to nearshore. These models are the current state-of-the-art for wave climate. The freely available version of SWAN (version 41.31) is used in this paper analysis. Third-generation spectral wave models are based on solving the spectral action balance equation, which determines the evolution of the action density in space and time. The action density is defined as energy density divided by wave frequency and it is used because, unlike energy density, it is conserved in the presence of currents; the energy density is specified using the two-dimensional wave spectrum, with the wave energy distributed over frequency and propagation direction.

Three zones have been considered: Sines harbour area (1), Azores Central Group Island (2) and Madeira Island (3). Various nested computational domains, embracing each zone of interest, were defined. Similar computational schemes have already been applied with good results in Madeira Archipelago (Rusu *et al.* 2008), and also on the coast of mainland Portugal (Rusu et al 2008). The implementation of the SWAN model was made for 36 directions and 28 frequencies logarithmically spaced from 0.04 Hz to 0.6 Hz with a JONSWAP spectrum, the simulations were performed in the stationary mode. A 40-year hindcast was considered, from 01/01/1979 to 31/07/2019, in order to obtain a set of offshore wave data at the four cardinal points at the borders of the main grids every 6 hours. These data were extracted from the fifth generation ECMWF atmospheric reanalysis of the global climate, **ERA5,** and their reliability is evaluated in the present work. The reanalysed wind field, also provided by ERA5 dataset, is forced as inputs for all computational grids. It is defined in order to fit the main grid of each zone with a 0.25º/0.25º resolution every 6-h covering the whole test period. Due to their weak impact on the sea waves of the 3 zones, current effects were not taken into account, which implies that refraction is only due to water depth spatial variations (Rusu & Guedes Soares 2012). The default bottom friction coefficient proposed by the JONSWAP group ($0.067 m^2 s^{-3}$, Hasselmann *et al.*, 1973) is used. This bottom friction coefficient has been found to be suitable for fully developed wave conditions in shallow water (Bouws & Komen 1983), although clearly variations will undoubtedly occur with different seabed conditions.

The physical processes activated in the simulations of the SWAN modelling system have been set by balancing the relevance of each factor in the studied area against its tendency to increase the calculation time.

3.2 Input dataset assessment

Where in-situ measurements from buoys were available, an input dataset assessment has been performed in order to appraise the reliability of the ERA5 dataset in terms of significant wave height (Hs), peak period (Tp) and Mean Direction (Dir). Some statistical parameters were considered. Taking the statistical results into account, the SWAN simulation is performed with the data provided by the ERA5 reanalysis dataset.

3.3 Nearshore wave climate modelling result

3.3.1 Result assessment

The SWAN simulation outputs are compared to the in-situ measurement from buoys, to detect if the wave model previously built is introducing discrepancies. In general, Hs are slightly overestimated, while Tp are underestimated. Those erroneous estimations could, in a way, compensate each other in the calculation of the wave power density since it is proportionate to $TeHs^2$, as explained in 2.

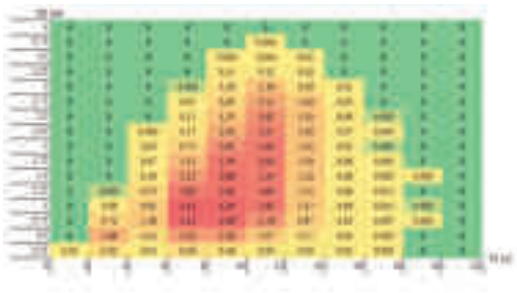
3.3.2 Points of interest choice

In each of the three zones, two target points are selected in front of the breakwater axis as close to the breakwaters as the SWAN grid resolutions allowed – zone 1: Sines harbour dock West and East / zone 2: Sao Roque do Pico and Madalena do Pico / zone 3: Paul do Mar and Seixal. Since the bathymetric lines are parallel at each location, the wave energy is only affected by refraction. Thus, the energy calculated at the target points is considered as a viable approximation of the energy available in front of the breakwater position.

3.3.3 Points of interest wave climate

Following the methodology described in 2, two filters were applied to the set of data extracted from the SWAN model results at each point. After computing the exploitable power from equation (5) for each time (every 6h) over the 40 years, the negative values were dismissed with their corresponding set of sea states, which represent the waves heading offshore. Then, the mean incident wave power was calculated for each point and used to determine the threshold above which all values are excluded. These filtered climate data series, coming from the six target sites, are employed in order to calculate variability coefficients and to generate wave roses and scatter diagrams of the Hs-Te joint distributions. Such a diagram presents the probabilities of occurrences of different sea states expressed in percentages from the total number of occurrences. It is structured into bins of 2s×0.25m (ΔTe×ΔHs) (Rusu 2014, Silva *et al.* 2013). From those diagrams the wave states can be described (see an example in Table I).

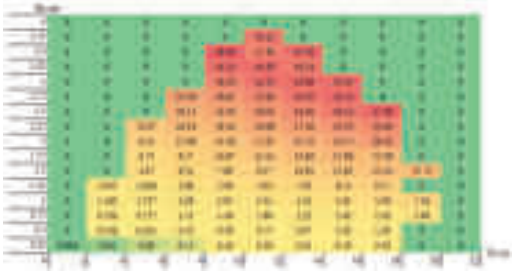
Table I: Madalena do Pico – zone 2 – frequency of occurence diagram for each sea state over the 40-year of study.



3.3.4 Points of interest exploitable wave power density

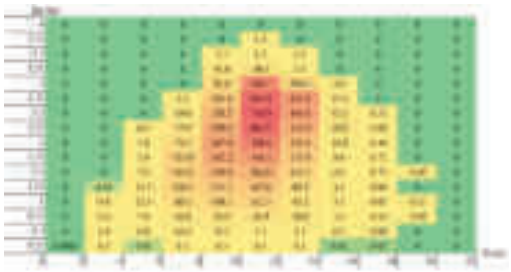
To truly describe the energy resource at each location, the average exploitable energy flux has been computed for each bin of the Hs-Te scatter diagram (see an example in Table II).

Table II: Madalena do Pico – zone 2 - mean exploitable energy flux per wave front length in kW/m for each sea state over the 40-year of study.



By multiplying the mean annual number of hours (8766h) with the average exploitable energy flux per wave front length and the occurrence probabilities of each bin (Te-Hs), the average annual exploitable energy per unit wave crest length for each sea state is obtained (see an example in Table III). The largest contributions for the total annual mean recoverable energy comes from sea states with both high occurrences and high wave power density (red bins). These results suggest that WEC developers should design their devices in order to operate efficiently over sea conditions that provide the largest contributions to the total annual of wave energy, instead of aiming only the more common sea states that in general offer a small contribution to the overall energy exploitable. From this point of view, the Madalena do Pico spot seems to be more advantageous with regard to the high overall potential annual energy to recover ($9150 MWm^{-1}year^{-1}$) and to the low complexity in the design, since the range of energy periods that contributes the most to the more powerful states is narrow (Table III). Furthermore, the seasonal and annual variability factors are remarkably low at that location so the wave climate is highly predictable.

Table III : Madalena do Pico – zone 2 - combined occurrences and energy diagram multiplied by 8766h. Each bin indicates the value of the mean exploitable energy flux per wave front length ($MWm^{-1}year^{-1}$).



Conclusions

A third-generation spectral wave model, together with hindcast data from the Era5 reanalysis dataset, has been set-up to investigate over six prior selected locations, their energetic potential. Because of the large temporal scale of the study (40 years), it should be born in mind that, some choices in term of modelling were made by balancing the calculation time against the impact of each factor on the accuracy of the study, for instance the activated parameters in each grid, the computational grid resolutions, the stationary mode, and the forced input data at 4 cardinal points instead of a continuous spectral inputs at the borders. All those simplifications introduce non-negligible errors; nevertheless, the amount of information produced by such a study gives an accurate overview of the general tendencies. The concept of exploitable wave energy resource was considered in this study since it provides a more appropriate representation in the context of a non-axisymmetric wave energy converter. It was observed, on one hand, that the concentration of occurrences should fit the power distribution pattern to positively impact the total amount of exploitable energy. On the other hand, the energy period deviation of the highest values of occurrences should be as narrow as possible because in this case, the design of an effective converter, regarding its Eigen-periods, would be eased by the narrower range of wave energy period that the device should be able to convert.

Acknowledgments

This work has been performed within the projects OWC-HARBOUR - Harbour protection with dual chamber oscillating water column devices (PTDC/EME-REN/30866/2017) and To-SEAlert – Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017, funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology.

REFERENCES

Booij, N. & Ris, R. & Holthuijsen, Leo. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. J. Geophys. Res.. 104. 7649-7656.

Bouws, E. & Komen, G.J. 1983. On the balance between growth and dissipation in an extreme depth-limited wind-sea in the southern North Sea. Journal of Physical Oceanography;13:1653–8.

Cahill, B, & Lewis, A.W. 2011 Wave energy resource characterization of the Atlantic marine energy test site. In: Proceedings of the 9th European Wave and Tidal Energy Conference, Southampton, UK.

Cornett A. M. 2008 A global wave energy resource assessment. Sea Technology Conference 2008. ISOPE-2008-579.

Clément, A. *et al.* 2002. Wave energy in Europe: current status and perspectives. Renew Sustain Energy Rev;6:405e31.

Electric Power Research Institute. 2011. Mapping and assessment of the United States ocean wave energy resource. Technical report.

Folley, M. & Whittaker, T.J.T. 2009. Analysis of the nearshore wave energy resource. Renew Energy;34:1709e15.

Matos, A. *et al.* 2015 Wave energy at Azores islands. SCACR2015 – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, 28th September – 1st October 2015 – Florence, Italy. 243-254pp. ISBN 78-88-97181-52-1.

Reis *et al.* 2015 Development of an Integrated Tool for Numerical Modelling of OWC-WECs in Vertical Breakwaters. IWHS 2015 - Proc. 2nd International Workshop on Hydraulic Structures: Data Validation, IAHR, 7 a 9 de maio, Coimbra, R.F. Carvalho & S. Pagliara (Eds.), 186-195 pp.

Rusu, E. 2014. Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments, Energies, 7, 4002-4018; doi:10.3390/en7064002.

Rusu, L. & Guedes Soares, C. 2012. Wave energy assessments in the Azores islands, Renewable Energy.

Rusu, E., Pilar, P & Guedes Soares, C 2008. Evaluation of the wave conditions in Madeira Archipelago with spectral models. Ocean Engineering; 35:1357e71.

Rusu, E., Pilar, P & Guedes Soares, C 2008. Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast. Coastal Engineering;55:906e19.

Silva, D., Rusu, E. & Guedes Soares, C. 2013. Evaluation of various technologies for wave energy conversion in the Portuguese nearshore. 6(3):1344-1364.

Sistema de vídeo-monitorização para extração de parâmetros hidro-morfológicos. O caso de estudo da praia da Vagueira

Santos, F. (1); Baptista, P. (1); Silva, P. (2); Pais-Barbosa, J. (2); Andriolo, U. (3); Sancho, F. (4)

(1) Departamento de Geociências e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Univ. de Aveiro, Campus Univ. de Santiago, 3810-193 Aveiro. fabioacsantos@ua.pt.

(2) Departamento de Física e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Univ. de Aveiro, Campus Univ. de Santiago, 3810-193 Aveiro.

(3) INESC-Coimbra, Institute for Systems Engineering and Computers, University of Coimbra, Coimbra.

(4) Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Av. Do Brasil, 101, Lisboa.

Resumo: Observações de alta frequência de processos hidro-morfológicos são fundamentais para apoiar os gestores e engenheiros costeiros. Os sistemas costeiros de vídeo-monitorização provaram ser uma forma eficiente e económica de fornecer uma base de dados de medições remotas. No âmbito de um projeto em curso de estudo de viabilidade de um quebra-mar multifuncional destacado em frente à praia da Vagueira, foi instalado um sistema de video-monitorização de baixo custo. Imagens Timex têm sido produzidos e arquivados continuamente desde junho de 2019 para detetar as posições da barra arenosa e da linha de costa. Neste trabalho, as séries temporais construídas desses indicadores costeiros são usadas para analisar as mudanças sazonais. As estatísticas sobre as posições da barra e da linha da costa são mostradas e discutidas, e os resultados são comparados com dados do programa COSMO.

Palavras-chave: deteção da barra submersa, deteção da linha de costa, programa COSMO, vídeo-monitorização.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras apresentam um complexo conjunto de processos hidro-morfológicos que ocorrem a escalas temporais muito diferenciadas. São também zonas expostas a diversos tipos de eventos extremos de origem oceânica e meteorológica.

No caso das frentes urbanas, os galgamentos e a inundação de zonas internas, com fortes impactos socioeconómicos, são fenómenos frequentes em zonas mais vulneráveis mesmo quando estas estão protegidas por obras de defesa aderente.

Neste contexto, a monitorização de parâmetros hidro-morfológicos na zona costeira torna-se um importante meio para a geração de bases de dados que permitam analisar as tendências que ocorrem às várias escalas e auxiliar na gestão e planeamento do litoral.

Embora o recurso a medições in situ de parâmetros hidro-morfológicos seja fundamental, estas têm custos relativamente elevados e dependem de instrumentos cuja utilização em condições de agitação marítima adversas se torna inviável.

O uso de sistemas de vídeo-monitorização permite ultrapassar algumas destas dificuldades, uma vez que são sistemas remotos de observação, de relativo baixo custo, que fornecem em modo automático e contínuo dados por períodos tão longos quando se pretenda. Contudo, existe a limitação da cobertura destes sistemas estar restringida a distâncias da ordem das centenas de metros e de, na maioria dos casos, só recolherem dados durante o período diurno.

No âmbito do "Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira", efetuado pelo LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente, foi implementado um sistema de vídeo na praia da Vagueira. O sistema é composto por uma câmara, que obedece a especificações de robustez para operar em ambientes agressivos, como é o caso das zonas costeiras. A câmara foi instalada num edifício próximo do esporão sul da praia da Vagueira, cuja escolha respeitou um conjunto de requisitos técnicos para maximizar a qualidade dos dados adquiridos (altura de 20,5 m relativamente ao nível medio do mar, câmara virada a noroeste e proximidade à zona de interesse, que inclui a defesa aderente e a praia adjacente). O sistema está em funcionamento desde o início de junho de 2019, adquirindo, em modo praticamente continuo, vídeos durante o período diurno.

2. METODOLOGIA

O sistema de vídeo entrou em funcionamento a 7 de junho de 2019, gravando continuamente vídeos de 10 minutos durante o período diurno. Até ao final de julho de 2020 obteve-se um total de 27653 vídeos (correspondendo a 354 dias de operação) e produziu-se automaticamente o mesmo número de imagens Timex e Variância.

Com base nas imagens obtidas foram estimadas as localizações da linha de costa e da barra submersa e analisadas as suas variações sazonais.

2.1. Calibração da câmara e retificação da imagem

De modo a extrair informação quantitativa das imagens é necessário realizar dois procedimentos, a calibração da câmara e a retificação das imagens. A calibração consiste na determinação dos parâmetros intrínsecos, que representam as características óticas e geométricas internas da câmara (Heikkila e Silven, 1996). Estes parâmetros são necessários para a correção das imagens, que consiste na eliminação dos efeitos induzidos pela curvatura da lente (Figura 1).



Fig. 1. Correção das imagens. a) Imagem original; b) Imagem corrigida.

Com a retificação das imagens (Figura 2) pretende-se relacionar as coordenadas da imagem com as coordenadas do terreno (obtidas através de pontos de controlo), de modo a que seja possível medições quantitativas através da imagem.

Neste trabalho foram utilizados 2 tipos de imagens, as Timex e Variância (Andriolo *et al.*, 2019).

As imagens Timex (Figura 2a) permitem obter a localização das zonas de rebentação (Andriolo *et al.*, 2020) que são um bom indicador de barras submersas e da existência de correntes de retorno, permitindo uma estimativa da morfologia do fundo (Holman e Stanley, 2007). A suavização das oscilações da linha de costa nestas imagens também permite estimar a posição dessa mesma linha.

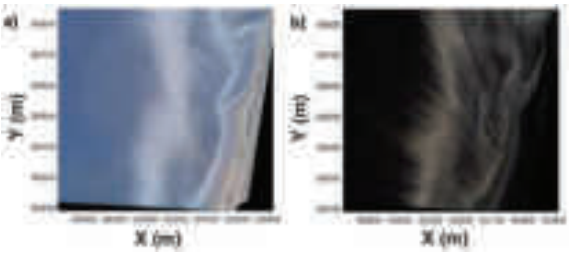


Fig. 2. Produtos obtidos pelo sistema de vídeo. a) Imagem Timex retificada; b) Imagem Variância retificada.

As imagens Variância permitem identificar as zonas que mudam ao longo do tempo, assim, zonas que não variam apresentam-se a preto, ao passo que zonas onde ocorrem grandes modificações vão aparecer brilhantes (Figura 2b). Estas imagens são úteis para a identificar as zonas de rebentação e espraio das ondas (Holman e Stanley, 2007).

3. DETERMINAÇÃO DAS POSIÇÕES DA LINHA DE COSTA E DA BARRA SUBMERSA

3.1. Posição da linha de costa

A posição da linha de costa é definida como a fronteira entre a água do mar e a areia da praia e neste trabalho foi extraída através das imagens Timex. A localização da barra submersa está associada à zona preferencial para a rebentação das ondas, e para a sua localização foram utilizadas imagens Timex e Variância.

Em Baptista *et al.*, 2019 são descritos dois métodos computacionais para a determinação da posição da linha de costa, tendo-se optado pelo método SLVE (ShoreLine pixel Value Extraction) uma vez que os resultados foram mais eficazes.

Foram determinadas duas localizações da linha de costa, uma referente ao momento da preia-mar e outra referente ao momento em que a maré interceta o nível médio do mar (NMM). Uma vez que a base de dados inclui diversos dias com visibilidade nula, por causa de nevoeiro ou de sujidade acumulada na lente da câmara, obtiveram-se, de um total de 354 dias, 301 imagens para o momento da preia-mar e 322 para o momento da maré NMM.

3.2. Posição da barra submersa

Para a localização da posição da barra submersa os métodos automáticos disponíveis não se revelaram eficazes, principalmente devido à variação da forma da barra e à existência de barras secundárias. Assim, optou-se por localizar manualmente a posição da barra submersa. Foram utilizadas preferencialmente as imagens Timex e no caso da zona de rebentação não ser muito visível recorreu-se às imagens Variância. A visibilidade das zonas de rebentação está dependente de fatores como o nevoeiro ou a sujidade na lente da câmara e também a altura da onda. Assim, para uma melhor visibilidade das zonas de rebentação foram selecionadas as imagens no momento da baixa-mar), obtendo-se 260 imagens de um total de 354.

3.3. Comparação com dados do programa COSMO

De modo a validar o método adotado para a localização da barra submersa foi feita uma comparação com os dados obtidos pelo programa COSMO da Agência Portuguesa do Ambiente.

Assim, compararam-se as posições das barras detetadas no perfil total PT_PC6 do COSMO com as detetadas a partir das imagens Timex. Utilizaram-se os dados do COSMO para a praia da Vagueira obtidos nos dias 05-02-2020 (existiam imagens do sistema de vídeo para esse dia) e 13-05-2019 (neste caso, por não haver imagens desse dia, utilizou-se a imagem Timex mais próxima dessa data, 07-06-2019).

O método utilizado para fazer a comparação consistiu em utilizar uma imagem Timex, com boa visibilidade e próxima do momento da baixa-mar em cada uma das datas, e sobre cada imagem foi sobreposto o correspondente perfil utilizado no levantamento do COSMO. Seguidamente sobre esse perfil foram extraídas as intensidades dos pixéis para as 3 bandas da imagem (RGB). Os valores das intensidades dos pixéis e dos resultados do COSMO foram normalizados e comparados.

4. RESULTADOS

4.1. Validação com dados do programa COSMO

Na Figura 3 apresentam-se os resultados obtidos, em cima os resultados para o dia 07-06-2019 e em baixo para o dia 13-05-2020, à esquerda os perfis utilizados pelo COSMO sobrepostos sobre a imagem Timex de onde se extraíram as intensidades dos pixéis e à direita a comparação dos resultados.

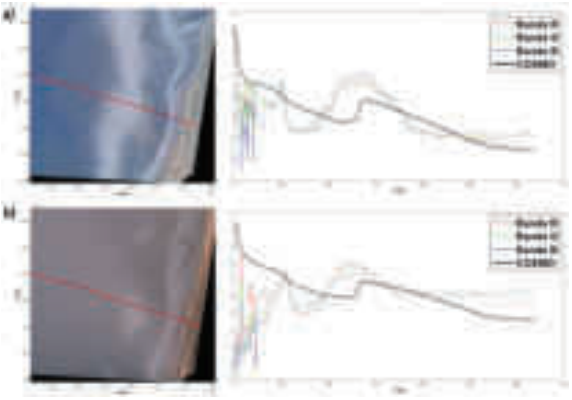


Fig. 3. Comparação dos resultados da batimetria obtida pelo COSMO e das intensidades dos pixéis obtidos pelas imagens Timex. Resultados para o levantamento do dia a) 13-05-2019; b) 05-02- 2020.

A comparação entre a batimetria obtida pelo COSMO e as intensidades dos pixéis das imagens Timex mostra haver correlação. A zona de rebentação, corresponde a um aumento da intensidade dos pixéis, que demonstra coincidência com o surgimento de uma barra submersa. Apesar do levantamento de 13-05-2019 ter um desfasamento de 23 dias com a imagem Timex mais contemporânea, pode-se concluir que em ambos os casos as zonas de rebentação detetadas através das imagens correspondem à posição da barra submersa e que o uso das imagens são um bom indicador dessa posição.

4.2. Determinação da posição média da barra submersa e da linha de costa

Após a identificação, para todo o conjunto de dados, de todas as posições das linhas de costa e da barra submersa foram calculadas as médias dessas posições. Este cálculo foi dividido em 3 grupos, tendo-se calculado a média total de cada parâmetro e a média para os períodos de verão e inverno marítimo (de abril a setembro e de outubro a março, respetivamente). Os resultados das posições médias encontram-se apresentados na Figura 4.

Verifica-se que durante o verão marítimo as linhas de costa estão mais afastadas da defesa aderente, aumentando assim a largura da praia, ao passo que durante o inverno marítimo as linhas se encontram mais próximas da estrutura de defesa, reduzindo assim a largura da praia. No sentido inverso, a barra submersa está mais próxima da praia durante o verão marítimo e mais afastada durante o inverno marítimo. Isto faz com que a distância entre a zona de rebentação e a linha de costa seja mais curta no verão marítimo, e maior no inverno marítimo. Também se verifica que na parte mais a sul da praia, as posições da barra nos diferentes períodos são muito coincidentes. A justificação pode estar na presença de um esporão situado imediatamente a sul do limite da imagem.

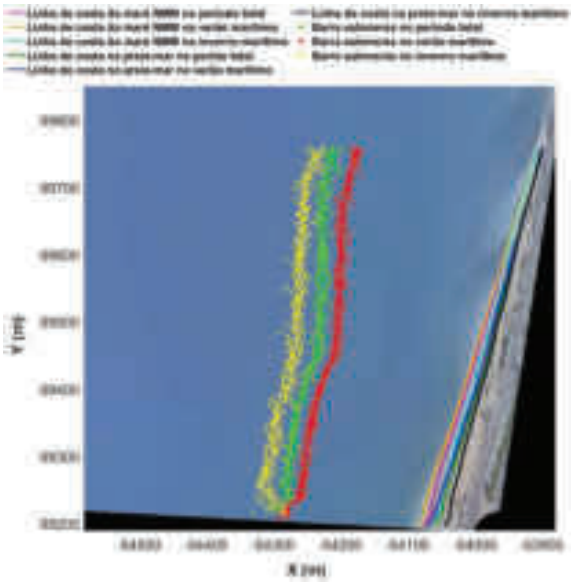


Fig. 4. Posições médias da barra submersa e das linhas de costa para os momentos de preia-mar e de maré NMM para os diferentes períodos.

Relativamente às distâncias entre a barra e a base da defesa aderente, determinou-se que a barra se

encontra mais próxima dessa estrutura na parte mais a sul, próxima do esporão, e mais afastada na zona mais a norte da praia. Durante o período de verão marítimo a barra situa-se em média a cerca 230 m da defesa aderente na zona sul da praia e a cerca de 260 m na zona norte, enquanto que no período de inverno marítimo as distâncias são, respetivamente, cerca de 330 m e 370 m.

Considerando o conjunto total, verifica-se que a posição média da barra se situa entre as posições médias do verão e inverno marítimos. Na parte mais a sul da praia, a distância entre a defesa aderente e a posição média da barra é cerca de 275 metros, enquanto que na parte mais a norte essa distância é cerca de 320 metros.

De modo a avaliar a variabilidade das localizações determinadas foram calculadas as médias do desvio padrão (Δσ), ou seja, a média longitudinal de todos os valores encontrados em cada localização, para cada parâmetro e período considerado (Tabela I).

Tabela I. Média do desvio padrão para cada parâmetro e período considerado.

Δσ / Período	Linha de costa - maré NMM	Linha de costa - maré preia-mar	Barra submersa
Total	14,02 m	13,64 m	45,45 m
Verão marítimo	12,63 m	13,12 m	26,44 m
Inverno marítimo	13,19 m	12,40 m	44,86 m

Dos valores obtidos para a média do desvio padrão é notório que os valores para a localização da barra submersa são muito superiores, uma vez que esta apresenta muito mais variabilidade da sua posição ao longo do tempo do que as linhas de costa. Verifica-se também que o período de inverno marítimo apresenta maior variabilidade da posição da barra submersa, coincidente com o período total, ao passo que no verão marítimo a variação é cerca de metade.

Relativamente à posição da linha de costa os valores são muito idênticos para os diferentes períodos e também para os momentos de preia-mar e de maré NMM, concluindo-se que a variação das linhas de costa é mais uniforme, não sofrendo as variabilidades de posições que acontecem para a barra submersa.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelam que a barra submersa na zona em estudo apresenta uma elevada dinâmica que se relaciona com a própria variação da localização da linha de costa e que, por conseguinte, diagnostica trocas sazonais sedimentares transversais na praia. O domínio médio da sua localização é variável entre os 230 e os 370 metros relativamente à defesa aderente, mas os valores de desvio padrão sugerem a presença de uma maior variabilidade das posições em resposta, por um lado, aos eventos extremos e, por outro, à variabilidade das condições de agitação marítima que ocorrem ao longo do ano. Deste modo, qualquer opção relativamente à viabilidade de construção de um quebra-mar destacado deve ter em consideração a posição e a dinâmica sazonal da barra submersa. Conclui-se que a manutenção do sistema de vídeo-monitorização em funcionamento é relevante para captar não só a dinâmica sazonal, mas também a resposta a eventos extremos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os membros da equipa, a todos os colaboradores e à Câmara Municipal de Vagos pelo apoio na obtenção da permissão para a instalação da câmara em propriedade privada.

REFERÊNCIAS

Andriolo, U., Mendes, D., Taborda, R., 2020. Breaking wave height estimation from timex images: Two methods for coastal video monitoring systems. Remote Sens. 12, 204. https://doi.org/10.3390/rs12020204

Andriolo, U., Sánchez-García, E., Taborda, R., 2019. Operational use of surfcam online streaming images for coastal morphodynamic studies. Remote Sens. 11. https://doi.org/10.3390/rs11010078.

Baptista, P.R., Barbosa, J.P., Silva, P.A., Andriolo, U., Santos, F., Carvalheiro, L., Sancho, F. (2019). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T3) Monitorização contínua através de sistema de vídeo-monitorização: Instalação da estação de vídeo-monitorização – Relatório 3. Relatório 240/2019 – DHA/LNEC.

Heikkilä, J. and Silvén, O. (1996) Calibration procedure for short focal length off-the-shelf CCD cameras. Proc. 13th International Conference on Pattern Recognition, Vienna, Austria, p. 166-170.

Holman, R. A., and Stanley, J. (2007). The history and technical capabilities of Argus. Coastal Engineering, 54(6–7), 477–491.

Mapping the shallow water seabed of the Atlantic coastal regions through Satellite multispectral data

Santos, R. (1); Quartau, R. (1)

(1) Divisão de Geologia Marinha do Instituto Hidrográfico – Marinha. R. das Trinas 49, Lisboa. Portugal. ruben.santos@hidrografico.pt.

Abstract: More than 50% of the seafloor in coastal areas is uncharted or outdated; this occurs due to the inefficiency of echo sounder systems in surveying waters shallower than 10 m, implying that, usually, only the routes of maritime traffic at these depths are surveyed in order to guarantee safety of navigation. Nevertheless, in this region occur the main marine socio-economic activities. Therefore, it is critical to survey it systematically in a more efficient way. Here, we look at an empirical method to derive bathymetry using high-resolution imagery from WorldView-2 satellite and in-situ bathymetric data to analyse its accuracy and potential for seabed monitoring of coastal waters. The results show that the methodology has some limitations, especially for seafloors with several sediment types or albedo values. However, the implementation of this method is simple and implies low computation resources, so it can be applied for a seafloor with a homogenous cover.

Key words: Remote sensing, Multispectral sensor, Seabed Type, Morphology, Bathymetry

1. INTRODUCTION

Surveying acoustically the whole seafloor below 10 meters depth is a real concern for navigation safety. Only routes of maritime traffic are surveyed regularly because it is very time-consuming. Hence, more than 50% of the seafloor in coastal areas is uncharted or outdated (IHO, 2019). Nevertheless, the main marine socio-economic activities are located here. In addition, coastal areas are the ones that will probably suffer greater impact by climate changes. Therefore, it is critical to survey this region systematically and today there are methods that use multispectral data acquired by satellite sensors that allow monitoring this region more efficiently than acoustic methods.

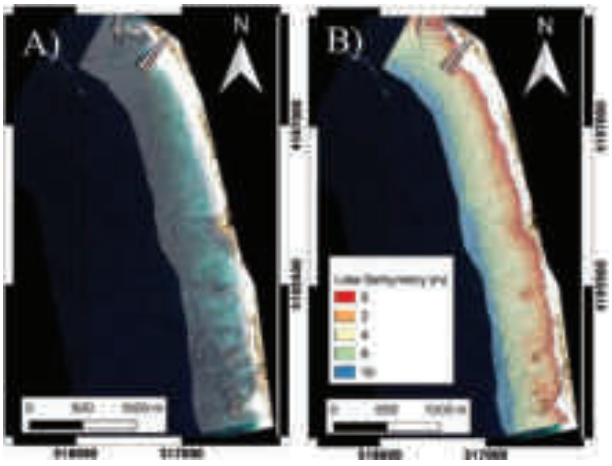


Fig. 1. A) RGB composition of the WV-2 imagery. B) LIDAR bathymetry with RGB composition in background.

In this work, we will study a method to derive bathymetry of shallow waters in Sines (Fig.1) using two band ratios (Coastal–Green and Blue–Green) from satellite sensors and *in-situ* data.

2. DATASET AND METHOD

This work used a multispectral imagery acquired at September 1St 2019, 11h51m45s by Worldview-2 (WV-2) sensor and composed by 9 bands. The panchromatic band has 50 cm of spatial resolution and the others 1.98 m. The panchromatic band allowed to compute the pan-sharpening of the others bands improving the spatial resolution from 1.98 m into 50 cm. However, we used all bands with both resolution to study if the changed pixel values due to the pan-sharpening technique have influenced the final result. The pan-sharpening was computed in QGIS software through GDAL Pansharpen algorithm.

The digital numbers (DN) of all bands were converted into top-of-atmosphere radiance, L, in units of $W\mu m^{-1} m^{-2} sr^{-1}$, using the equation (Kuester, 2017):

$$L = GAIN * DN * (abscalfactor / effectivebandwith) + OFFSET$$

The *abscalfactor* and *effectiveBandwidth* are in the metadata file of the imagery. The *DN* is the pixel value of each band. The *Gain* and *Offset* are the absolute radiometric calibration (Table I) and they are available by DigitalGlobe/MAXAR.

The following equation was used to convert the at-sensor radiance to top-of-atmosphere reflectance: (Kuester, 2017)

$$\rho_{\lambda} = \frac{L_{\lambda} \cdot d_{ES}^{2} \cdot \pi}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos(\theta_{S})}$$

where L is the top-of-atmosphere radiance; d_{ES} is the Earth-Sun distance in AU for the acquisition date of the imagery; *Esun* is the band-averaged Solar exoatmospheric irradiance @1AU (We used the Thuillier *et al.* (2003) solar curve for the calculations). Θ_S is the solar zenith angle.

Table I. Calibration parameters.

Version	2016v0		
Satellite	WorldView-2		
Band	Gain	Offset	Bandwidth
PAN	0.942	-2.704	
Coastal	1.151	-7.478	4.73e-02
Blue	0.988	-5.736	5.43e-02
Green	0.936	-3.546	6.30e-02
Yellow	0.949	-3.564	3.74e-02
Red	0.952	-2.512	5.74e-02
RedEdge	0.974	-4.120	3.93e-02
NIR1	0.961	-3.300	9.89e-02
NIR2	1.002	-2.891	9.96e-02

Table II. Solar exoatmospheric irradiance for reference (@1 AU).

Worldview-2			
BAND	Thuillier 2003	Chkir	WRC
PAN	1571.36	1575.38	1580.76
COASTAL	1773.81	1759.24	1757.77
BLUE	2007.27	1977.4	1974.29
GREEN	1829.62	1857.89	1856.03
YELLOW	1701.85	1738.11	1738.59
RED	1538.85	1554.95	1559.35
REDEDGE	1346.09	1302.19	1342.05
NIR1	1053.21	1061.4	1069.59
NIR2	856.599	858.816	861.201

The estimation of bathymetry by empirical regression methods is commonly applied for shallow water mapping techniques. With some *in-situ* bathymetric data and with a good quality image, a simple regression method can be used to calibrate a bathymetry retrieval algorithm.

The method used here follows Stumpf *et al*. (2003), which relies on the ratio of the logarithm of two bands. The depth, z, is determined as:

$$z = m_0 * \log(n R_w(\lambda_i)) / \log(n R_w(\lambda_j)) + m_1$$

where n is a user-set constant which should be chosen to ensure the logarithms are positive and the relationship is maximally linear. The R_w terms are the reflectance in two bands i (Coastal and Blue) and j (Green). The constants m_1 and m_0 are estimated by linear regression over the *in-situ* bathymetric points.

The bathymetry set used here was the LIDAR dataset acquired in 2011 by *Direção Geral do Território* (DGT) *e Agência Portuguesa do Ambiente* that covers the mainland Portuguese coastline. This Digital Elevation Model (DEM) includes both bathymetric and terrestrial data. This DEM was validated by DGT (Terrestrial data) and *Instituto Hidrográfico - IH* (Bathymetry). The DEM dataset used was referenced to ETRS89-TM06 and the vertical reference is the *Zero Hidrográfico* (ZH). The land data was removed from the dataset and the depths were corrected for the height of the tide at the time of acquisition of the WV-2 imagery. The height of the tide was estimated using the tide gauge of Sines Port from IH dataset in its web portal (Table III).

Table III. Date, hour, tide height (ref. ZH).

Date/hour (UTC)	Tide (m)
01/09/19 04:31	3,6
01/09/19 10:31	0,4
01/09/19 16:50	3,8
01/09/19 23:03	0,3

The LIDAR bathymetry was increased by 1.13 m to match the height of the tide at the time of the imagery acquisition.

For the determination of m_0 and m_1, we used two subsets of LIDAR bathymetry: a) 50,000 points randomly selected; and b) all points between 0.5 and 6.0 m depth from 50,000 points randomly selected (approximately 22,000 points).

The satellite derived bathymetry (SDB) was computed using the 4 band pairs: Coastal-Green and Blue-Green with different spatial resolution (2.0 m and 0.5 m); and the pairs of the regression parameters (m_0, m_1) obtained for the two LIDAR datasets (see Table IV).

This method allowed to compute 8 SDB's for our study area, and also allowed us comparing the results from: a) coastal and blue bands; b) different *in-situ* datasets; and c) differences between pan-sharpening and original multispectral bands in the SDB results.

The residuals between SDB and LIDAR bathymetry were determined to verify the SDB quality.

3. RESULTS

In the determination of slope (m_0) and intercept (m_1) parameters the better correlation between SDB and LIDAR bathymetry occurred when we used *in-situ* data covering all depths. The root mean square error was 1.3 when we used depths between 0.5 and 6.0 m for m_0 and intercept m_1 determination. The table IV shows clearly that *in-situ* data has a great importance on computation of m_0 and m_1.

The 8 pairs of (m_0, m_1) allowed us deriving 8 SDB's through Stumpf *et al.* (2003) algorithm in combination with the bands: Coastal-Green and Blue-Green (Fig. 2 and 3).

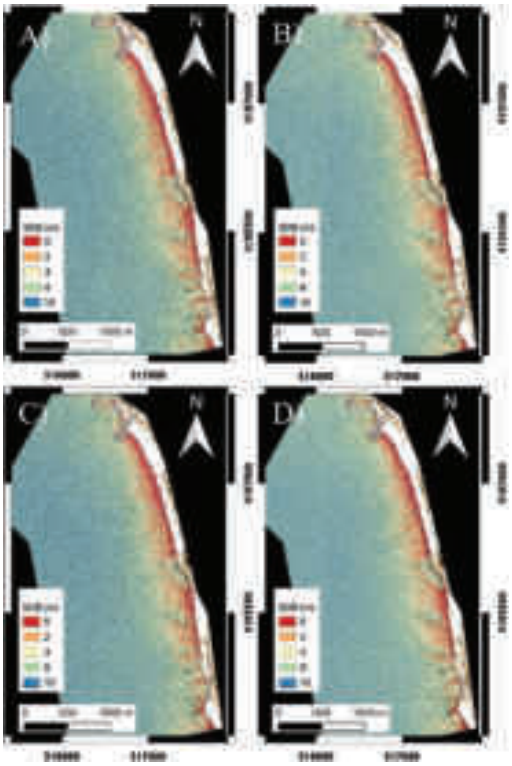


Fig. 2. SDB obtained through 50,000 depths randomly selected with hillshade. The background is the RBG composition. A) B-G bands with spatial resolution of 2.0 m. B) C-G bands with spatial resolution of 2.0 m. C) B-G bands with spatial resolution of 0.5 m. D) C-G bands with spatial resolution of 0.5 m.

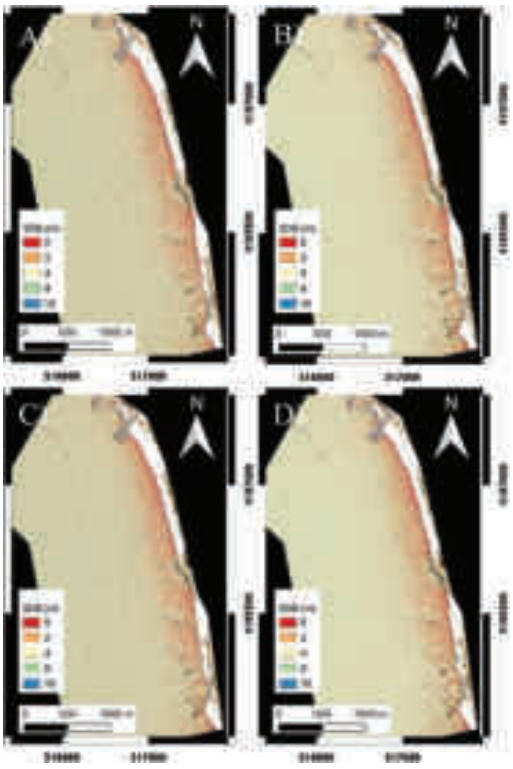


Fig.3. SDB obtained through 22,000 depth points with hillshade. The background is the RBG composition. A) B-G bands with spatial resolution of 2.0 m. B) C-G bands with spatial resolution of 2.0 m. C) B-G bands with spatial resolution of 0.5 m. D) C-G bands with spatial resolution of 0.5 m.

When we used the *in-situ* data that cover all depths we computed deeper bathymetry for the more offshore regions (Fig.2). However, the *in-situ* data only cover depths between 0.0 and 10.0 m and the WV-2 imagery covers a larger region.

Table IV. Linear regression parameters for the blue-green and coastal-green band ratios (using the pansharpen - Pan and original resolution of the bands -Mx) for all 50,000 in-situ depths randomly selected from LIDAR bathymetry and for the shallow regions between 0.5 and 6.0 m depths: slope (m_0), intercept (m_1), correlation coefficient (R2) and the root mean square error (RMS) in meters.

	In-situ	Mx/Pan	m_0	m_1	R^2	RMS
Blue-Green	All depths randomly	Mx	91.5	-92.9	0.6	2.0
		Pan	87.1	-88.4	0.6	2.0
	Shallow 0.5-6.0m	Mx	36.3	-35.3	0.3	1.3
		Pan	34.5	-33.4	0.3	1.3
Coastal-Green	All depths randomly	Mx	61.6	-64.6	0.6	2.0
		Pan	58.3	-61.2	0.6	2.0
	Shallow 0.5-6.0m	Mx	24.1	-23.7	0.3	1.3
		Pan	22.8	-22.3	0.3	1.3

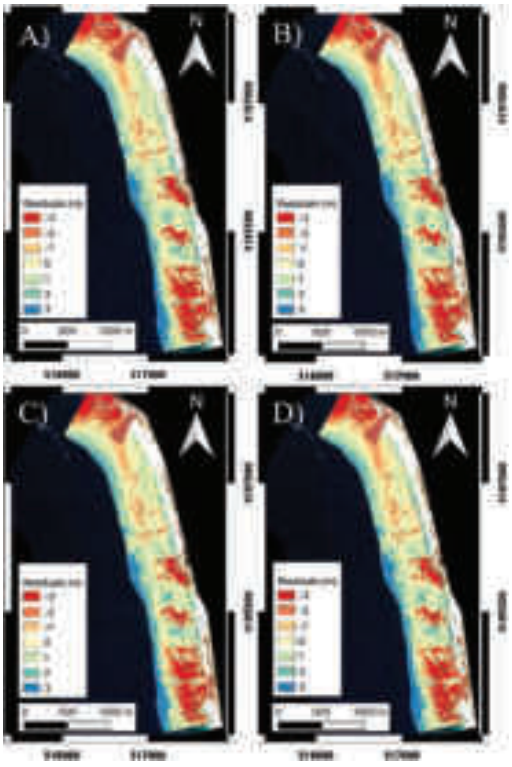


Fig.4. Residuals between Lidar bathymetry and SDB using 50,000 points.

The depths from Fig. 3 are generally smaller than those of Fig. 2. The SDB from Fig. 3 reaches only 6 m depth, but SDB in Fig. 2 reaches 10 m. This is due to the results of the parameters (m_0, m_1) determined by *in-situ* data covering all depths (Fig. 2) or only those between 0.5-6.0 m (Fig. 3).

The residuals between LIDAR bathymetry and SDB follow normal curve centred at zero in both cases.

In general, the major residuals are contained in rocky regions (red colours in Fig.4 and 5) and in deeper regions (blue colours in Fig. 4 and 5). In Fig.5 we observe that the major residuals are observed in a long strip of the deeper region.

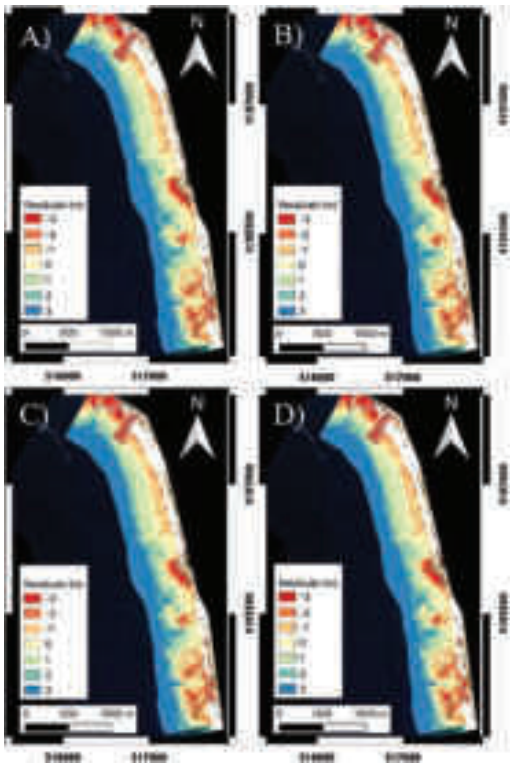


Fig.5. Residuals between Lidar bathymetry and SDB obtained with 22,000 points.

4. DISCUSSION

Table IV shows us that the better correlation coefficients are obtained with *in-situ* data covering all depths available. However, the root mean square errors are higher in comparison with *in-situ* data between 0.5 and 6.0 m depth. This can be caused by the time interval between the imagery acquisition in 2019 and LIDAR survey in 2011 and/or the LIDAR accuracy (~2.0 m). The seafloor of the shallower region (0.5-6.0 m of depth) can reveal greater changes due the action of waves (in those 8 years) in comparison with the region covered by all LIDAR depths.

The negative influence of selecting *in-situ* data between 0.5 and 6.0 m of depth is revealed in this study, where the parameters of the linear regression (m_0, m_1) can alter the depth computation through Stumpf *et al.* (2003) algorithm (Fig. 2, 3, 4 and 5). However, this limitation was caused probably due to the 8 years gap between the imagery and LIDAR acquisition or by the accuracy of LIDAR data.

The residuals show us a severe limitation of this method when applied in a seafloor with several sediment types or albedo values. In the study area, the seafloor is composed, mainly, by rocks and sand. The regions where the seafloor is darker (rocks) the depths in SDB are higher than the reality (see red colours in (Figs. 4 and 5). However, the implementation of this method is simple and is fast with low computation resources, so it is a good method for a seafloor with only one type of cover. To overcome these limitations we needed to use other methods based on imagery segmentation to separate the seafloor types with different albedos or use semi-analytical methods (physical models) that can compute the albedo from the seafloor

5. CONCLUSION

This study showed that it is possible to apply other methods to map shallow water areas besides the traditional acoustic methods that are very time-consuming. The Stumpf *et al.* (2003) methodology is an easy and fast way of deriving bathymetry; however it does not work well for heterogeneous seafloor. To overcome this issue, we need to look at analytical methods to decrease the errors in the estimation of the bathymetry. It also revealed the importance of having enough *in-situ* data for the band calibration.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the ESA for funding the acquisition of the WV-2 through the category 1 project (ID 50754) and DGT/APA by the acquisition of the LIDAR data.

REFERENCES

IHO. (2019). "Publication C-55 Status of Hydrographic Surveying and Charting Worldwide.," *International Hydrographic Organization*, p. 528.

Kuester, M. (2017). Absolute Radiometric Calibration Adjustment Factorsn2016 Season Results 2016V0. *DigitalGlobe*.

Stumpf, R.P., Holderied, K. and Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*,48.

Thuillier, G., Hersé, M., Foujols, T., Peetermans, W., Gillotay, D., Simon, P.C. and Mandel, H. (2003). The solar spectral irradiance from 200 to 2400 nm as measured by the SOLSPEC spectrometer from the ATLAS and EURECA missions. *Solar Physics*, 214(1), pp.1-22.

Desenvolvimento de um observatório costeiro para a Área Metropolitana de Lisboa

Campuzano, F. (1); Rodrigues, M. (2); Castellanos, P. (3); Pinto, J. P. (4); Almada, F. (5); Costa, P. (6); Deus, R. (6); Nunes, S. (7); Fernandes, M. J. (8); Martins, A. (9); Pascoal, A. (10); Sobrinho, J. (11); Godinho, V. (12); Oliveira, A. (2); Oliveira, A. (11); Brito, A. (3); Pablo, H. (1); Brotas, V. (3); Costa, J. L. (3); Gonçalves, E. (5); Fernandes, C. S. (4); Neves, R. (1)

(1) MARETEC-LARSyS - Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal. campuzanofj.maretec@tecnico.ulisboa.pt.

(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Av. do Brasil 101, 1700-075 Lisboa, Portugal.

(3) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Cidade Universitária, Alameda da Universidade, 1649-004 Lisboa, Portugal.

(4) Instituto Hidrográfico. R. das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal.

(5) MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, ISPA-Instituto Universitário, Rua Jardim do Tabaco 34, 1149-041 Lisboa, Portugal.

(6) Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. Av. Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165 Lisboa, Portugal.

(7) Agência Portuguesa do Ambiente. R. da Murgueira 9, 2610-124 Amadora, Portugal.

(8) Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Av. da República 16, 1050-191 Lisboa, Portugal.

(9) Câmara Municipal de Lisboa, Campo Grande 25, 1600-036 Lisboa, Portugal

(10) ISR-LARSyS - Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal.

(11) CoLAB +ATLANTIC. Molhe Leste, 2520-620 Peniche, Portugal.

(12) Administração do Porto de Lisboa, S.A. Gare Marítima de Alcântara, 1350-355 Lisboa, Portugal.

Resumo: Um observatório costeiro é uma ferramenta de gestão que consiste num sistema de integração e disseminação de informação meteo-oceanográfica na perspetiva da prestação de serviços às entidades que desenvolvem atividade económica, de lazer ou de investigação científica nas regiões costeiras. No âmbito do projeto europeu MyCoast está a ser desenvolvido um observatório costeiro para a Área Metropolitana de Lisboa.

O âmbito geográfico do observatório inclui as zonas de influência dos estuários do Tejo e do Sado e promove uma abordagem de gestão da água desde as águas interiores até ao oceano, passando pelas águas de transição. Com o fim de obter uma melhor governança e um melhor conhecimento da área costeira abrangida, o observatório agregará e disseminará observações, previsões e alertas produzidos por diferentes instituições que se dedicam ao estudo e à monitorização desta área fomentando o espírito integrador e de colaboração através de uma abordagem institucional e interdisciplinar.

Palavras-chave: área metropolitana de Lisboa, economia azul, gestão de riscos, governança, observatório costeiro.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são o principal palco das atividades antropogénicas ligadas ao mar, pela proximidade da linha de costa, mas também por serem as áreas mais ricas em recursos biológicos. A orla costeira em geral e as praias em particular são áreas prioritárias para as atividades turísticas de lazer e como consequência, sendo as zonas costeiras espaços fundamentais para a sustentabilidade da economia azul. A manutenção dos serviços prestados pelas zonas costeiras é do interesse dos agentes que os utilizam e das entidades que os gerem.

Um observatório costeiro é uma ferramenta de gestão que consiste num sistema de integração e disseminação de informação meteo-oceanográfica. Os observatórios costeiros pretendem prestar serviços a estas entidades através da disseminação de informações em tempo real aos utilizadores finais que exercem atividades nestas zonas, e do fornecimento de dados de monitorização e de conhecimento necessários ao planeamento regional e à preservação dos ecossistemas.

Estas novas ferramentas de gestão e de disseminação de dados históricos, em tempo real e em modo de previsão permitem antever eventos meteo-oceanográficos extremos que se traduzem em cheias, inundações e influenciam a erosão costeira; antever eventos de risco associados ao incremento do tráfego marítimo e das operações portuárias que aumentam o risco de derrames de hidrocarbonetos e outras

substâncias perigosas; e apoiar a expansão de outras atividades ligadas à economia azul como são as energias renováveis marinhas e a aquacultura costeira e offshore.

No âmbito do projeto europeu MyCoast (http://www.mycoast-project.org/; 2017-2021), financiado pelo programa INTERREG Espaço Atlântico (https://www.atlanticarea.eu/) foi proposta a criação de um observatório costeiro para a Área Metropolitana de Lisboa (AML). Neste documento apresentam-se os primeiros passos dados nessa direção e os resultados preliminares obtidos.

2. ÂMBITO GEOGRÁFICO

O âmbito geográfico definido para este observatório inclui as áreas de influência dos estuários do Tejo e do Sado, estendendo-se no Norte até o limite aproximado da AML (39.2°N) e para sul até ao limite da influência do estuário do Sado (38.1°N). Os limites zonais estão compreendidos entre os 8°W e os 10°W e incluem o sistema de canhões submarinos Lisboa-Setúbal (Fig. 1).



Fig. 1. Limites da área geográfica abrangida pelo observatório costeiro Tejo-Sado (Portugal). Aparecem também indicadas a localização dos estuários de Tejo e do Sado assim como o sistema de canhões submarinos Lisboa-Setúbal.

Pretende-se que este observatório complete geograficamente os outros quatro observatórios costeiros existentes atualmente em Portugal:

- RAIA na área fronteiriça do Norte de Portugal com a Galiza (Espanha);
- MONICAN centrado na área do canhão submarino da Nazaré e áreas adjacentes;
- OCASO na área transfronteiriça do Algarve e Andaluzia (Espanha);
- OOM nas águas do arquipélago da Madeira.

3. ÂMBITO CIENTÍFICO-TÉCNICO

O observatório inclui no seu espaço os dois estuários portugueses de maior extensão e por esta razão implementará uma abordagem contínua da gestão integrada das zonas costeiras, desde as bacias hidrográficas até o oceano passando pelas águas de transição e desde o fundo marinho até à atmosfera.

Dentro das áreas científico-tecnológicas relevantes para este propósito, o observatório, através da experiência dos seus parceiros, incluirá competências em monitorização de dados *in situ*, observação via satélite e modelação numérica das diferentes componentes do contínuo da água. Estes serviços poderão ser fornecidos de forma operacional em tempo quase real para as observações e em modo de previsão para os modelos numéricos. O observatório abrangerá a análise de parâmetros físico-químicos da água como os biológicos e da fauna. O observatório terá também como ambição promover o desenvolvimento e testes de novas tecnologias e sensores na área abrangida.

4. MOTIVAÇÃO

Face ao exposto, a criação deste observatório é fundamental para agregar as informações recolhidas/geradas por diferentes instituições com o fim de facilitar o desenvolvimento sustentável da economia azul e das atividades antrópicas que se realizam no território abrangido pelo observatório. Destacam-se, as seguintes atividades e usos da zona costeira:

- Habitacional: A AML é a área metropolitana mais populosa do país (NUTS III), com 2,8 milhões de habitantes, onde as principais urbes, infraestruturas e linhas de comunicação estão localizadas na orla costeira;
- Portos e turismo: Localização de importantes portos de mercadorias (Lisboa e Setúbal) e de recreio (Cascais e Sesimbra), além de ser a porta de acesso de centenas de milhares de passageiros de cruzeiros;
- Investigação: Nesta região estão localizadas as sedes de importantes centros de investigação e laboratórios de estado (IH, INCF, IPMA, LNEC, etc.), utilizadores finais (APA, APL, DGRM, etc.) assim como universidades com forte vocação para o estudo do mar e dos processos costeiros (ULisboa, UNova, ISPA, etc.);
- Ambiente: Áreas de grande interesse ambiental no âmbito europeu estão incluídas nestes limites (Rede Natura 2000): Cabo Raso e Cabo Espichel (Diretiva Aves), Estuários do Tejo e Sado (Diretiva Aves e Habitats), Sintra/Cascais, Fernão Ferro/Lagoa de Albufeira, Arrábida/Espichel (Diretiva Habitats). Também nesta área encontram-se a reserva marinha das Avencas e o Parque Marinho Professor Luiz Saldanha que faz parte integrante do Parque Natural da Arrábida.

5. VISÃO

O futuro observatório estará inserido na rede internacional de observatórios do projeto MyCoast e tem como objetivo, após consolidação, integrar-se noutras estruturas europeias de observatórios.

Constituirá um centro de excelência aberto aos contributos das diferentes administrações públicas e centros de investigação. Com o fim de obter uma melhor governança da área costeira abrangida, o observatório agregará e disseminará observações, previsões e alertas produzidos por diferentes instituições fomentando o espírito integrador e de colaboração através de uma abordagem institucional e interdisciplinar.

O observatório capitalizará iniciativas existentes (p. ex. projetos, infraestruturas, métodos, modelos numéricos, sensores, etc.) nas diferentes instituições e promoverá sinergias capazes de gerar serviços sustentáveis desenhados para os atores presentes na área abrangida.

6. MISSÃO

O observatório irá impulsar e contribuir para a consolidação da oceanografia operacional, potenciando o desenvolvimento científico e tecnológico que servirá de alavanca para o desenvolvimento de serviços ligado à economia do mar nesta região. O observatório irá beneficiar da experiência de outros observatórios que operam a nível nacional e europeu e assim contribuir para o aumento da resiliência da área costeira face aos riscos existentes.

Este observatório tem como objetivo principal reunir os principais atores envolvidos na gestão dos espaços costeiros, urbanos e portuários, assim como as empresas que operam nesta área costeira, juntamente com os centros de investigação e as instituições académicas para a partilha de dados, ferramentas, e conhecimento que dotem as instituições, incluindo as responsáveis pela tomada de decisões, da melhor informação disponível em tempo útil.

7. ORGANIZAÇÃO

A governança e a forma de organização do observatório estão a ser atualmente discutidas pelo consórcio promotor, estando prevista uma apresentação do observatório ao público geral nos próximos 12 meses.

7.1. Consórcio promotor

O consórcio promotor (Tabela I) é composto pelas instituições que têm participado nos workshops realizados até à data (ver secção 8) e inclui algumas das instituições mais relevantes na oceanografia costeira da região. Esta lista não é definitiva e novas instituições poderão ser integradas após aprovação nas reuniões do consórcio.

7.2. Gestão e Governança

O observatório será gerido de forma semelhante a como funcionam os grupos de trabalho internacionais. O observatório será coordenado por responsáveis durante um termo definido e com responsáveis para o desenvolvimento das diferentes componentes (p. ex. productos e ferramentas, gestão e partilha de dados, comunicação, etc.). Durante o primeiro termo serão preparados os protocolos de colaboração, planos de trabalhos e plano estratégico do observatório. Cada instituição terá um voto e será responsável pela nomeação da(s) pessoa(s) de contacto bem com como das possíveis substituições.

Tabela. I. Lista de instituições participantes nas workshops do observatório até a data e o seu acrónimo.

Parceiro	Acrónimo
Administração do Porto de Lisboa, S. A.	APL
Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	APA, I.P.
Câmara Municipal de Lisboa	CML
CoLAB +ATLANTIC	+ATL
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa	MARE-FCUL
Institute for Systems and Robotics – LARSyS – Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa	ISR-IST
Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P.	ICNF, I.P.
Instituto Hidrográfico	IH
Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.	IPMA, I.P.
ISPA – Instituto Universitário	MARE-ISPA
Laboratório Nacional de Engenharia Civil	LNEC
MARETEC-LARSyS – Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa	MARETEC-IST

8. PRIMEIRAS AÇÕES E ATIVIDADES

Desde dezembro de 2019, têm sido organizados eventos periódicos a cada três meses aproximadamente. Estas reuniões e workshops do observatório foram organizadas por convite, contando com um número reduzido de participantes para favorecer a discussão. Nestas reuniões participaram representantes de instituições de investigação, universidades, laboratórios de estado, instituições públicas e empresas, tendo sido identificados os potenciais contributos de cada para a criação do observatório.

Um dos contributos do projeto MyCoast, em 2019 foi a instalação de um *ferrybox* da empresa UNDERSEE num navio da TransTejo-Soflusa que realiza o percurso Cais de Sodré-Cacilhas e que atualmente se encontra operacional; os dados obtidos serão disponibilizados em tempo real uma vez concluída a fase de testes.

Outra das primeiras atividades do observatório foi o levantamento de um inventário das estações de monitorização das diferentes componentes (atmosférica, bacia hidrográfica e estuários) distribuídas na área do observatório, indicando o seu grau de acessibilidade e disponibilidade. O inventário

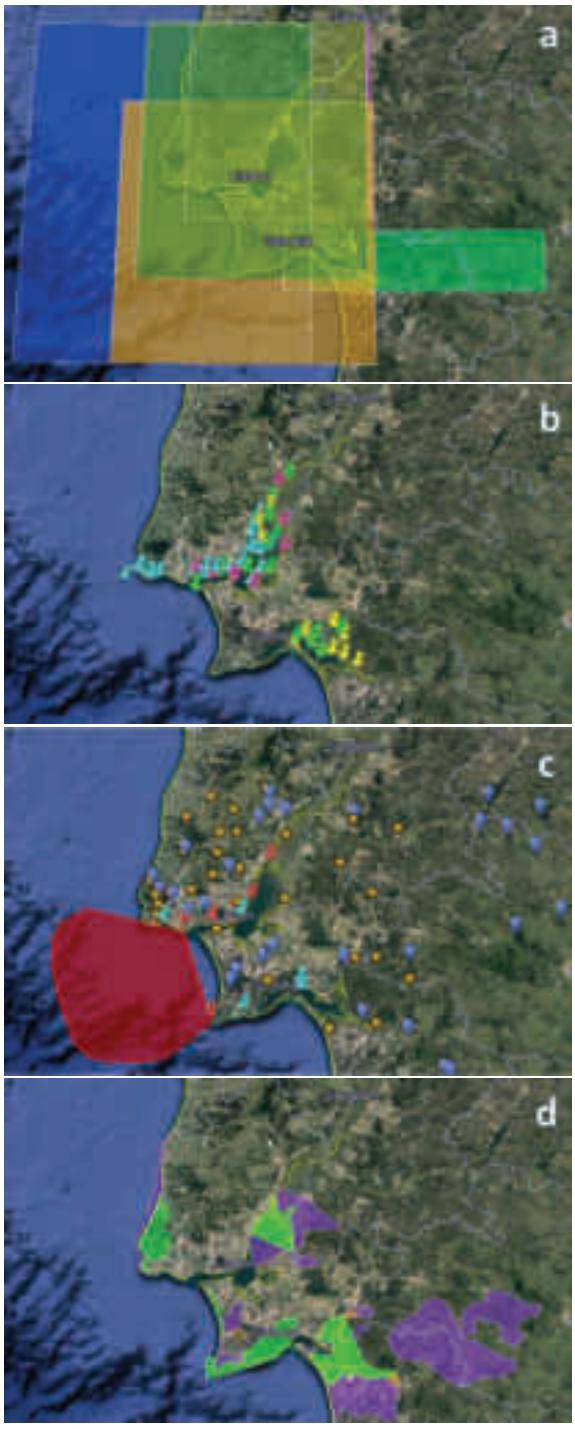


Fig. 2. Imagem gráfica de diferentes camadas de informação do inventario do observatório da Área Metropolitana de Lisboa no seu estado atual. Este inventário inclui informação de (a) domínios dos modelos numéricos operacionais (b) estações de monitorização in-situ de campanhas de monitorização e dados históricos (as tachinhas de diferentes cores indicam diferentes instituições e programas de monitorização) (c) estações de monitorização in-situ automáticas das diferentes componentes ambientais (p. ex. as estações de monitorização hídrica são indicadas com marcadores azuis, estações de monitorização meteorológica são indicadas com marcadores com forma de sol; os marcadores vermelhos com a letra A indicam a localização das antenas de radar HF que cobrem aproximadamente o polígono em vermelho) e (d) áreas protegidas na área abrangida pelo observatório (polígonos em violeta indicam áreas da Rede Natura 2000, polígonos em verde indicam áreas da Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) e em laranja Sítios RAMSAR).

irá compilar também as diferentes fontes produtos de deteção remota, antenas de radar HF, e modelos numéricos operacionais (Fig. 2). O inventário também inclui outras informações socioeconómicas tais como áreas protegidas pela Rede Natura 2000, Sítios RAMSAR, Rede Nacional de áreas protegidas e reservas marinhas.

Uma das grande mais valias do observatório reside em que muitos dos dados que formam o inventário do observatório provém de projetos em curso p. ex. CoastNet (https://coastnet.pt/), UBEST (http://ubest.lnec.pt/), H2020 FORCOAST (https://forcoast.eu/), etc. O observatório agregará dados dos programas de monitorização em continuo implementados pelos diferentes membros. Pretende-se com esta integração atingir uma maior visibilidade e distribuição dos dados atualmente recolhidos e assim garantir uma maior sustentabilidade das observações.

Uma página web indicará a localização de todas as informações cuia gestão será gerida de forma descentralizada numa fase inicial do observatório.

9. TRABALHOS FUTUROS

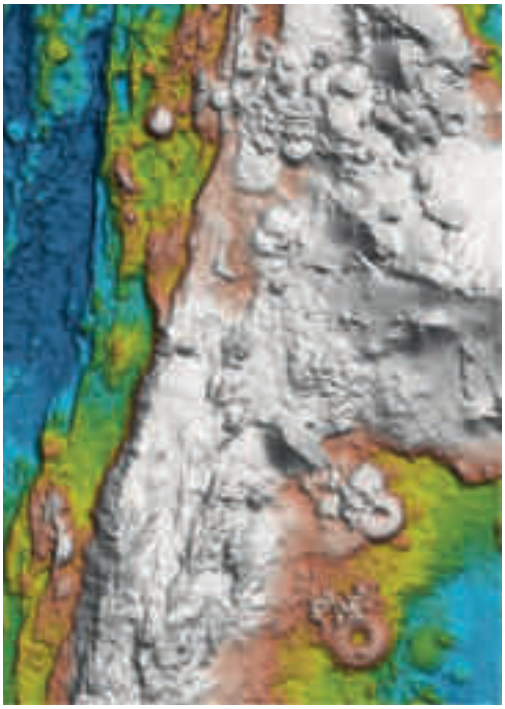
Os próximos passos para avançar na consolidação do observatório consistirão em definir um modelo de governança e gestão. A partir desse momento será elaborado um protocolo de colaboração entre as instituições, um plano estratégico de desenvolvimento e um plano de trabalhos para os três anos seguintes. Ao mesmo tempo, serão escolhidos coordenadores do observatório e responsáveis das diferentes áreas a desenvolver. Finalmente, o observatório será apresentado ao publico geral e aos utilizadores finais num workshop, virtual ou presencial, onde se apresentaram os produtos e serviços desenhados pelo consórcio.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto MyCoast cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do Programa INTERREG Espaço Atlântico (EAPA_285_2016, parceiros MARETEC-IST, IH, CML), pelo projeto AQUAMON, financiado pela FCT (PTDC/CCI-COM/30142/2017, parceiro LNEC), pelo projeto UBEST financiado pela FCT (PTDC/AAG-MAA/6899/2014, parceiro LNEC), pelo projeto H2020 EOSC-hub financiado pelo Comissão Europeia (Grant Agreement No 777536, parceiro LNEC), pelo projeto CoastNet financiado pela FCT Infraestruturas/Portugal 2020 (parceiro MARE-FCUL).

INFRAESTRUTURAS DE DADOS GEOESPACIAIS DO MAR

6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica
1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia



Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina – IdeIHM

Fernández-Ros, A. (1)

(1) Instituto Hidrográfico de la Marina - España. e-mail: aferr22@fn.mde.es

Resumen: El Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) tiene entre sus misiones contribuir a la seguridad en la navegación mediante la edición y producción de la cartografía náutica y publicaciones asociadas. Asimismo, entre sus cometidos se encuentran la materialización de la línea de costa, las líneas de base recta y los límites administrativos marítimos españoles, una vez aprobados por el Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación.
Por otro lado, según distintas legislaciones europeas y de ámbito nacional sobre difusión, uso y reutilización de la información del sector público se establece que las administraciones públicas deben tomar las medidas oportunas para hacer que la información geográfica (IG) sea más accesible para todo tipo de usuarios, mediante la interoperabilidad entre los conjuntos y servicios de datos espaciales.
Con el fin de cumplir la legislación, al mismo tiempo que atender la demanda de información náutica digital de la sociedad, el IHM inició un proyecto basado en herramientas de *software* libre para el establecimiento de un Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales en el ámbito náutico y marítimo (http://ideihm.covam.es). Este geoportal, denominado IdeIHM, se hizo público en junio de 2018.
La IdeIHM incluye, entre otros, servicios de visualización (WMS) de cartografía náutica, línea de costa, límites administrativos marítimos publicados oficialmente, libro de luces, catálogo de cartas náuticas y servicio de descarga de datos geográficos (WFS) de línea de costa y límites administrativos, y servicio de catálogo de metadatos (CSW). En este trabajo se describen la estructura, contenidos y herramientas utilizadas para desarrollar el proyecto de la IdeIHM.

Palabras clave: cartografía, hidrografía, IDE, servicios WEB, SIG.

1. INTRODUCCIÓN

En el Reino de España, el IHM es el responsable de la producción de la cartografía náutica oficial del Estado, tanto en su versión de papel como digital, siempre con fines náuticos y para preservar la seguridad en la navegación. Las peculiaridades de este tipo de cartografía, principalmente debidas a su continua actualización (semanal) y el compromiso con la seguridad que conlleva, tiene como resultado que el producto digital, la Carta Náutica Electrónica, sea muy específico y, además se encuentra normalizado internacionalmente para su uso exclusivo en las consolas ECDIS (*Electronic Chart and Display and Information System*) a bordo de los buques y protegido mediante un sistema de seguridad rígido que evita su difusión ilegal.
Así, la demanda que se ha producido en los últimos años, desde distintos entes de la sociedad, de información náutica digital para otros fines distintos al de la navegación, no ha podido ser atendida mediante este producto debido principalmente a dos factores: el primero es que el IHM no debe salir del esquema de seguridad establecido mediante acuerdos internacionales, y el segundo, los demandantes no disponen de las consolas apropiadas capaces de «leer» este tipo de producto.

Ante esta situación, el IHM se ha visto en la obligación de atender estas demandas de información náutica mediante la creación de productos específicos muy concretos y adaptados a las peticiones, lo que supone cargas de trabajo adicional.
Por otro lado, la promulgación por la Comisión Europea de la Directiva INSPIRE (*Infraestructure for Spatial Information in Europe*) 2007/2/CE, que establece las reglas generales para el establecimiento de una Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad Europea basada en las Infraestructuras de los Estados miembros (EM), y la Directiva 2003/98/CE, modificadas por las Directivas 2013/37/UE y UE 2019/2024, sobre datos abiertos y reutilización de la información del sector público, que tiene por objeto facilitar la creación de productos y servicios de información basados en documentos, fundamentalmente digitales, del sector público reforzando la eficacia del uso transfronterizo de dichos documentos por las empresas privadas para que ofrezcan productos y servicios de información de valor añadido.
El Estado español, como EM de la Unión Europea, ha realizado la transposición de ambas directivas. En particular, la de la Directiva INSPIRE a través de la LISIGE (ley sobre las Infraestructuras y Servicios de Información Geográfica en España), en la que se desarrolla la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE). La IDEE tiene como objetivo integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, a nivel estatal, autonómico y

local, y en segundo lugar, integrar todo tipo de infraestructuras sectoriales y privadas, cumpliendo, todas ellos, una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, protocolos, especificaciones) y conforme a sus respectivos marcos legales. Entre los principios básicos en los que debe basarse la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) podemos destacar que:

- Los datos deber recogerse y mantenerse en el nivel en el que resulte más efectivo.
- Debe ser posible combinar de modo continuo información geográfica de distintas fuentes a lo largo de todo el territorio y compartirla entre múltiples usuarios y ámbitos de aplicación.
- Debe ser posible que la información recogida en un nivel se comparta con otros niveles.
- La información geográfica necesaria para una correcta gestión debe ser abundante bajo condiciones que no impidan su uso extensivo.
- Debe ser fácil descubrir qué información geográfica está disponible, reúne las características para un uso determinado y bajo qué condiciones puede ser obtenida y usada.
- Los datos geográficos deben ser sencillos de entender e interpretar, así como de seleccionarse en un entorno de usuario amigable.

Bajo estos principios y de acuerdo a la Directiva INSPIRE, la IDEE se apoya en dos pilares fundamentales:

- Infraestructura, constituida por una estructura virtual en red integrada por datos georreferenciados.
- Servicios interoperables, que permiten la localización, visualización, descarga, transformación y acceso de toda aquella información geográfica distribuida en diferentes sistemas de información, accesibles vía internet con un mínimo de protocolos y especificaciones normalizadas.

El ámbito de cobertura de la IDEE comprende el territorio nacional, el mar territorial, la zona contigua, la plataforma continental y la zona económica exclusiva.

La puesta en práctica del proyecto IDEE se materializa a través de un geoportal que reúne las IDE españolas, de forma que cada una de ellas ofrezca, como mínimo, los siguientes tres clientes: visualización (que permita la visualización de los datos a través de servicios web y, opcionalmente, su consulta), localización (que posibilite la búsqueda de conjuntos de datos y servicios a través del contenido de sus metadatos) y nomenclátor (que permita la localización en un mapa a través de un nombre geográfico).

Tanto en Europa como en España, la normalización de la información geográfica digital de las IDE se realiza mediante los organismos de normalización internacional: *International Organization for Standardization* (ISO) y europeo: *European Committee for Standardization*, (CEN). Igualmente, en Europa y España, para facilitar el acceso, manipulación e intercambio de información geográfica en la web, se siguen las especificaciones de interoperabilidad del *Open Geospatial Consortium*, Inc, (OGC).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el IHM inició, a mediados de 2013, su andadura en la creación de un nodo experimental IDE denominado «Geoportal de la Infraestructura de datos espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina», con el acrónimo IdeIHM, basado en estos pilares fundamentales:

- La existencia de personal técnico, con conocimientos y formación suficiente, capaz de desarrollar el entorno, y programar y crear los servicios necesarios para dotar de contenidos así como formar al resto de personal en el mantenimiento sin necesidad de nueva dotación de personal para llevar a cabo las distintas tareas.
- La proliferación de herramientas de *software* libre (*open source*), con capacidades para la creación de servicios de visualización y descarga de IG, el desarrollo de visualizadores y la creación de servicios de catálogo, que si bien no son tan intuitivas y fáciles de usar como las herramientas comerciales, permiten generar productos de calidad con coste cero de licencias.

La IdeIHM está abierta al público desde julio de 2018.

2. IMPLEMENTACIÓN DE LA IdeIHM

2.1. Estructura

La estructura del geoportal de la IdeIHM (Figura 1) está compuesta por:

- Una presentación con los antecedentes y pretensiones de su creación, expuestos a lo largo de este artículo,
- Una breve reseña de las iniciativas IDE a nivel europeo, nacional y en el ámbito de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI).
- Una descripción de los servicios ofertados,
- Un visualizador con las distintas capas tal y como este IHM pretende que sean configuradas para el uso correcto por parte de los usuarios, e
- Información sobre las licencias de uso de los datos ofrecidos por el geoportal.



Figura 1. Cabecera con acceso al contenido de la IdeIHM.

2.2. Servicios

El marco legislativo español establece, entre otros, los siguientes tipos de servicios de información geográfica que debe incorporar cualquier iniciativa IDE en España:

- Servicios de descubrimiento o catálogo (CSW), que posibiliten la búsqueda de conjuntos de datos geográficos y servicios de información

geográfica, partiendo de los metadatos correspondientes y mostrar su contenido.

• Servicios de visualización (WMS), que permitan, como mínimo, mostrar, navegar, acercarse o alejarse para concretar o ampliar el campo de visión, moverse o superponer los datos geográficos, así como mostrar los signos convencionales y, opcionalmente, consultar los atributos de los datos geográficos; deberá ser posible acceder a estos servicios de visualización directamente desde servicios de localización.

• Servicios de descarga (WFS, WCS), que permitan generar copias de datos geográficos, o partes de ellos, y, cuando sea posible, acceder directamente a su contenido para construir servicios de valor añadido o integrarlos en la lógica de aplicaciones de usuario.

En su versión actual la IdeIHM incorpora además de un servicio CSW, que permite consultar los metadatos tanto de los servicios publicados en la IDE del IHM como de las distintas Cartas Náuticas de Papel o de ENC, los siguientes servicios WMS y WFS:

• Servicios WMS de cartografía náutica.- permiten la visualización de datos geográficos incluidos en la cartografía náutica oficial producida por el IHM. Los datos empleados proceden de los distintos propósitos de navegación de las cartas náuticas electrónicas (ENC) producidas actualmente. Para escalas pequeñas se emplea el propósito 2 y, según se aumenta la escala, se llega hasta la visualización de los datos incluidos en las ENC de propósito 5. La simbología utilizada para su representación coincide con la simbología simplificada de la publicación S52 de la OHI (librería de presentación de la información S57 en los ECDIS).

• WMS/WFS de la línea de costa.- permite la visualización y descarga del contorno de la línea de costa española, incluida en la cartografía náutica oficial.

• WMS/WFS Faros y Señales de niebla.- permite la visualización, la descarga y el acceso a los datos sobre señalización marítima existentes en las publicaciones «Faros y Señales Marítimas, Partes I y II».

• WMS/WFS Esquema de Cartografía Náutica de Papel y de ENC.- permite la visualización y descarga de los marcos de todas las Cartas Náuticas de papel que aparecen en el Catálogo de Cartas Náuticas. Están agrupados, en función de la escala y para un propósito de navegación, para cartas náuticas de papel en: GENERALES, DE ARRUMBAMIENTO, COSTERAS, APROCHES, PORTULANOS y DEPORTIVAS; y para ENC en: DE ARRUMBAMIENTO (2), COSTERAS (3), APROCHES (4), PORTULANOS (5).

• WMS/WFS Límites Marítimos.- Este servicio permite, por un lado, la visualización y descarga de las líneas de base recta (LBR), actualmente en vigor, y por otro lado de, únicamente, los límites marítimos oficiales del mar territorial, zona contigua, plataforma continental y zona económica exclusiva publicados en Boletín Oficial del Estado.

• WMS/WFS Zonas de Ejercicios - Carta OF.- Este servicio permite la visualización y descarga de las «Zonas de Ejercicios Militares» que afectan al litoral español y que están incluidas en la carta de papel OF.

Asimismo, se pretenden añadir progresivamente otros servicios WMS como son la Cartografía Náutica de papel en formato ráster, información de mareógrafos y corrientes, mallas batimétricas de baja resolución y otros productos demandados. Toda la información geográfica se ofrece en sistemas de representación compatibles con los usados en la mayoría de sistemas de información geográfica (SIG), más concretamente EPSG:4326 (coordenadas geográficas en WGS84) y EPSG:3395 (proyección Mercator en WGS84, propia de la cartografía náutica). La IdeIHM incorpora un visualizador capaz de consumir además de los servicios WMS producidos por el IHM, otros producidos por organismos externos, en la Figura 2 podemos ver el aspecto de este visualizador.



Figura 2. Aspecto del visualizador de información náutica incorporado en la IdeIHM.

2.3. Software

Para el desarrollo del geoportal se han utilizado, en su mayoría, herramientas y programas libres y de código abierto, o en su defecto, *software* licenciado de uso habitual en el IHM.

Como servidor web se ha utilizado el servidor HTTP Apache (versión 2.4) y como servidor de *servlets* Apache Tomcat (versión 8.5).

Para el desarrollo de la estructura principal de geoportal se ha utilizado HTML plano con *javascript*, haciendo uso de la librería j-query (versión 1.9.1).

El visualizador se ha desarrollado con las librerías de *javascript*: openlayers 2.12 (con modificaciones realizadas por el IHM), oleditor y proj4sj (versión 1.1.0).

La información geográfica se ha transformado a los distintos formatos y estructuras necesarias para la creación de los servicios WMS y WFS con la herramienta ETL (*Extract, Transformation and Loading*) de Safe FME (*Feature Mapping Engine*).

El servicio WMS de cartas ENC se ha desarrollado implementando la simbología S52 con mapserver para Windows (versión 7.6-dev). El resto de servicios WMS y WFS se han implementado con Deegree (versión 3.4.6).

Por último el catálogo de metadatos CSW se ha creado con Geonetwork (versión 2.10).

3. CONCLUSIONES

Con la puesta en marcha del geoportal del Infraestructura de datos espaciales del Instituto Hidrográfico de la Marina se ha dado un gran paso para poner a disposición de todo tipo de usuarios una parte de la información geográfica que hasta ahora no estaba disponible en las distintas iniciativas IDE desarrolladas en España, como es la información náutica. De la misma manera, el IHM pone en práctica su espíritu de servicio público y cumple con sus obligaciones como organismo de la Administración del Estado en la producción de productos derivados de la cartografía náutica.

AGRADECIMIENTOS

Resulta necesario agradecer al personal de CIGACART por el apoyo dado al IHM en cuanto al mantenimiento de la infraestructura de red que ha hecho posible la puesta en funcionamiento y el acceso internet de la IdeIHM.

REFERENCIAS

Geoportal IDEE. [consulta: 11 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.idee.es/es.

Geoportal IdeIHM. [consulta: 11 de agosto de 2020]. Disponible en: http://ideihm.covam.es.

SEAMAP 2030

Dias, T.(1); Veiga, L.(2); Vicente, J.(2)

(1) Instituto Hidrográfico, geraldes.dias@hidrografico.pt.

(2) Instituto Hidrográfico.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar os fundamentos do plano estratégico do projeto SEAMAP 2030. Neste sentido, são descritos: a sua visão (*100 % dos espaços marítimos nacionais mapeados até 2030*), descrevendo os conceitos e dados relevantes para a sua concretização; a sua missão (*contribuir para a conservação e uso sustentável do mar, apoiando a investigação e promovendo o desenvolvimento*), caraterizando a conjuntura global em que se insere o projeto e justificando a sua importância nacional e mundial; os objetivos gerais que, uma vez alcançados, garantem o cumprimento da missão. Apesar de iniciado pelo IH, pelo seu âmbito e relevância, o projeto SEAMAP 2030 deveria ser encarado como um desafio de cariz nacional.

Palavras-chave: cobertura batimétrica, espaços marítimos, Instituto Hidrográfico, levantamento hidrográfico, SEAMAP 2030, sondador multifeixe.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, cerca de 81 % dos fundos oceânicos permanecem por mapear. Em 2017, quando foi encetado o Projeto *Seabed 2030*[1], uma iniciativa conjunta da *Nippon Foundation* e da *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO), esta percentagem era de 94 % (Seabed 2030, 2020). Este mapeamento refere-se a uma cobertura batimétrica total do fundo, com elevada resolução, normalmente alcançada através de levantamentos hidrográficos (LH) com sistemas sondadores multifeixe (SMF).

Esta realidade reveste-se de especial significado quando comparada com o nível de conhecimento, por exemplo, da superfície de Marte: conhecemos melhor a superfície desse planeta do que a superfície da Terra, sob os oceanos (Seabed 2030, 2017).

O projeto SEAMAP 2030 do Instituto Hidrográfico (IH) visa contribuir para este conhecimento global da morfologia do fundo marinho, completando o mapeamento de elevada resolução dos espaços marítimos sob jurisdição nacional até 2030.

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar os fundamentos do plano estratégico do projeto SEAMAP 2030, nomeadamente:

- A visão: concluir o mapeamento de elevada resolução do Mar Português até 2030;
- A missão: porquê mapear o Mar Português;
- Os objetivos: ações específicas de concretização da missão.

2. VISÃO: MAPEAMENTO DE ELEVADA RESOLUÇÃO DO MAR PORTUGUÊS

A visão do projeto SEAMAP 2030 pode ser definida como: ***100 % dos espaços marítimos nacionais mapeados até 2030***.

Este parágrafo descreve alguns conceitos e apresenta os dados relevantes para esta visão.

2.1. Mapeamento de elevada resolução

O mapeamento de elevada resolução é normalmente efetuado através de SMF que permitem a cobertura batimétrica total do fundo. Nestes sistemas, com uma abertura angular de 120º, a largura da faixa sondada equivale a cerca de 3,5 vezes a profundidade (d) no nadir (figura 1).

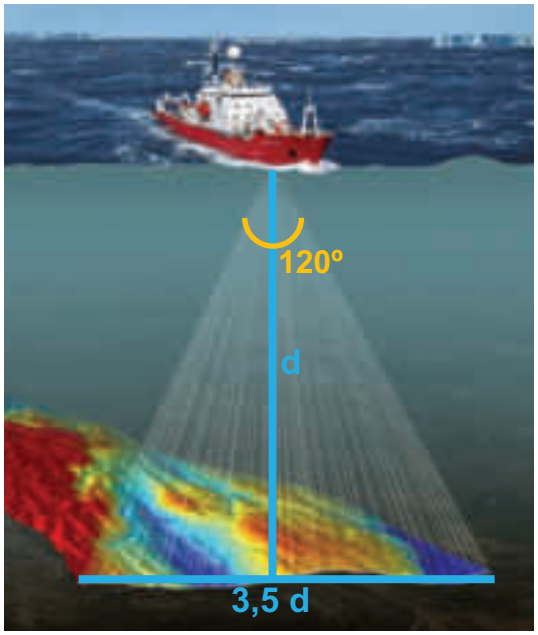


Fig. 1. Exemplo da cobertura batimétrica efetuada por um SMF (British Antarctic Survey, 2020).

Os dados batimétricos são posteriormente processados, validados e utilizados na modelação tridimensional do fundo. Os modelos batimétricos

[1] https://seabed2030.gebco.net.

(MB) considerados de elevada resolução têm, em regra, resoluções entre 2 a 5 % da profundidade.
Na modelação batimétrica com dados costeiros e oceânicos o IH utiliza atualmente os MB de deteção de objetos (MBDO) e de cobertura completa (MBCC), com resoluções aproximadas de 2,5 e 5 % da profundidade, respetivamente (figura 2).

Profundidade	MBDO		MBCC	
	Resolução		Resolução	
5 m	NA	2,5 %	0,25 m	5 %
10 m	0,25 m		0,50 m	
20 m	0,50 m		1,00 m	
40 m	1,00 m		2,00 m	
60 m	NA		3,00 m	
80 m	2,00 m		4,00 m	

Fig. 2. Resoluções dos MB utilizados no IH. Por exemplo, num fundo de 50 m, são usadas resoluções de 2 m no MBDO e de 3 m no MBCC.

2.2. Dimensão do Mar Português

No âmbito deste trabalho, o conceito de Mar Português aqui empregue refere-se ao conjunto dos espaços marítimos sob jurisdição ou eventual jurisdição nacional, nomeadamente: a zona económica exclusiva (ZEE), a plataforma continental (PC) e a reclamação de extensão da PC, apresentada à Comissão de Limites da PC (CLPC) da Organização das Nações Unidas (ONU) e que aguarda deliberação.
A figura 3 ilustra as dimensões dos referidos espaços.

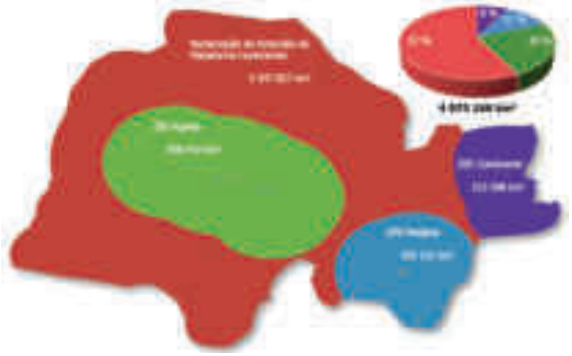


Fig. 3. Dimensões dos espaços marítimos nacionais (áreas calculadas através do software ArcGIS).

2.3. Mapeamento do Mar Português

O ponto de situação do mapeamento de elevada resolução do Mar Português encontra-se ilustrado na figura 4.

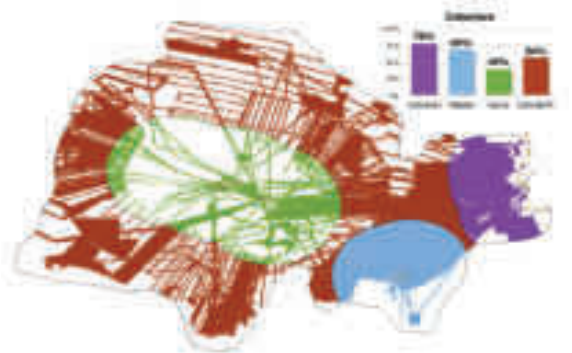


Fig. 4. Cobertura dos espaços marítimos nacionais com LH com SMF, efetuados entre 1997 e 2018 pelo IH.

A zona com maior cobertura é a ZEE do Continente (78 %) e a com menor cobertura é a ZEE dos Açores (39 %). Globalmente, considerando apenas as ZEE, a cobertura total é de 54 %. Englobando a reclamação de extensão da PC, a cobertura ascende a 55 %.

2.4. Esforço de sondagem

O tempo necessário para concluir a cobertura batimétrica (esforço de sondagem) depende da profundidade da área a sondar, uma vez que, conforme exemplificado em 2.1., a largura da faixa sondada é proporcional à distância do SMF ao fundo (corresponde à profundidade, nos casos em que os SMF se encontram instalados em navios de superfície).
Neste sentido, o esforço de sondagem necessário para concluir as áreas referidas anteriormente, pode não ser proporcional às respetivas percentagens em falta.
A figura 5 ilustra os intervalos de profundidade dos espaços marítimos nacionais já sondados.

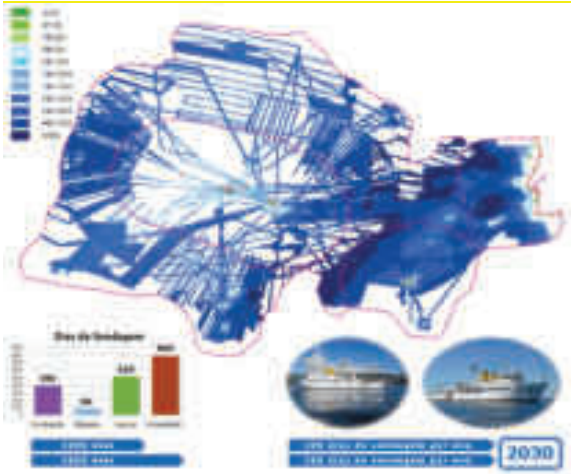


Fig. 5. Profundidades dos espaços marítimos nacionais e respetivo esforço de sondagem para conclusão da cobertura.

A zona que requer menos dias de sondagem é a ZEE da Madeira (84 dias) e a que requer mais dias é a reclamação de extensão da PC (800 dias). Globalmente, considerando apenas as ZEE, são necessários cerca de 1 000 dias para conclusão da sua cobertura batimétrica. Englobando a reclamação de extensão da PC, o esforço de sondagem ascende a 1 800 dias.
Assim, observando o prazo para a conclusão do projeto (2030) e o tempo disponível (10 anos), o esforço necessário traduz-se em:

- **100 dias** de sondagem por ano (aproximadamente, 1 milhão de euros por ano), para completar as ZEE;
- **180 dias** de sondagem por ano (aproximadamente, 1,8 milhões de euros por ano), para completar o Mar Português.

Para referência, em 2020, ano que precede estes cálculos, foram efetuados 45 dias de sondagem, valor aquém do que o projeto ambiciona.

3. MISSÃO: PORQUÊ MAPEAR O MAR PORTUGUÊS

A missão do projeto SEAMAP 2030 pode ser definida como: **contribuir para a conservação e uso sustentável do mar, apoiando a investigação e promovendo o desenvolvimento**.
Este parágrafo justifica a atualidade e relevância desta missão.

3.1. A década dos oceanos

O projeto SEAMAP 2030 insere-se numa conjuntura global de progressiva valorização do oceano.
Se, por um lado, o projeto *Seabed 2030* procura completar o mapeamento de elevada resolução dos fundos oceânicos do planeta até 2030, a ONU declarou o período 2021-2030 como a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável[2]. Esta declaração encontra-se englobada na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, nomeadamente no que respeita ao seu objetivo n.º 14: *conservação e uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos*[3].
A conservação e uso sustentável dos oceanos implica a sua compreensão. Esta decorre naturalmente da investigação levada a cabo no mar, baseada e dirigida pelo conhecimento pormenorizado da morfologia do fundo. Assim, estrategicamente, o objetivo do projeto *Seabed 2030* encontra-se a montante do objetivo n.º 14 da Agenda 2030 da ONU.
Analogamente, o objetivo do projeto SEAMAP 2030, encontra-se a montante do objetivo do projeto *Seabed 2030*, constituindo-se, para além de um desígnio nacional, como um contributo para a prosperidade mundial.

3.2. Muito mais do que segurança da navegação

O mapeamento do fundo marinho não é somente importante para a produção de cartografia náutica e para a segurança da navegação. O conhecimento pormenorizado da orografia dos oceanos potencia:

- A **investigação científica**, servindo de base e orientando toda a pesquisa multidisciplinar efetuada nos oceanos, e os consequentes desenvolvimentos tecnológico, económico e cultural;
- A **gestão sustentável**, ampliando a informação acerca dos recursos e tornando a sua exploração e preservação mais eficientes;
- O **apoio à decisão**, garantindo um nível de conhecimento (*awareness*) que permita ações eficazes nas áreas da economia, segurança, defesa e proteção civil.

Para além destes três vetores, que sustentam o objetivo global de conservação e uso sustentável dos oceanos, a conclusão do mapeamento do fundo marinho afirma Portugal como uma nação alinhada com os objetivos mundiais da ONU e empenhada na gestão e controlo dos seus espaços marítimos.

3.3. Uma missão em constante evolução

A contínua evolução das tecnologias de aquisição de dados e das técnicas de modelação prenuncia que esta será uma missão em constante evolução.
Em 2019 o IH começou a gerar superfícies de resolução variável (VRS[4]) como produtos finais dos LH costeiros e oceânicos, onde existe uma variabilidade considerável dos valores de profundidade. Até então, eram geradas diversas superfícies, em função do intervalo de profundidades. Entre outras vantagens, as VRS permitiram que o produto final de um LH fosse um único MB, assim como melhorou a modelação das zonas de fronteira entre intervalos de profundidades.
A recente proliferação na utilização de sistemas não tripulados, nomeadamente, as plataformas submarinas (UUV[5]), pode também afetar o paradigma desta missão sob duas vertentes: por um lado, estes sistemas constituem um importante multiplicador de força, reduzindo significativamente o esforço de sondagem; por outro lado, a sua mobilidade na coluna de água permite-lhes melhorar a resolução, quanto mais próximos estiverem do fundo.

4. OBJETIVOS: COMO CUMPRIR A MISSÃO

Este parágrafo descreve os objetivos que, uma vez alcançados, garantem o cumprimento da missão.

4.1. Garantir a disponibilidade e o empenhamento dos navios hidrográficos

Os navios hidrográficos (NRP *D. Carlos I* e NRP *Almirante Gago Coutinho*), como meios capazes e quase exclusivos de executar os LH necessários, representam um dos pilares da missão. Tratando-se de navios já com alguma idade, é essencial que se mantenham operacionais e que, futuramente, cumpram anualmente os dias de sondagem estimados: 100 ou 180 dias, conforme o nível de ambição.

4.2. Garantir uma organização abrangente e eficaz dos dados (bases de dados)

Em 2019 o IH iniciou a conceção da base de dados (BD) MarPT que contempla os LH costeiros e oceânicos. Até então, o produto final que era arquivado em BD correspondia aos MB de resolução fixa resultantes dos LH.
Nesta BD adicional, os produtos arquivados correspondem às nuvens de pontos (*point cloud*) com a totalidade dos dados validados dos LH. A BD MarPT é, assim, especialmente dedicada à criação de produtos específicos (VRS) de apoio à comunidade científica, em que a respetiva resolução pode ser melhorada consoante a necessidade. A figura 6 ilustra

[2] https://www.oceandecade.org.
[3] https://sdgs.un.org.
[4] Sigla em inglês: *Variable Resolution Surface*.
[5] Sigla em inglês: *Unmanned Underwater Vehicle*.

dois MB com diferentes resoluções do monte submarino Gigante, nos Açores. O seu mapeamento com elevada resolução permitiu a descoberta da fonte hidrotermal Luso em 2018.

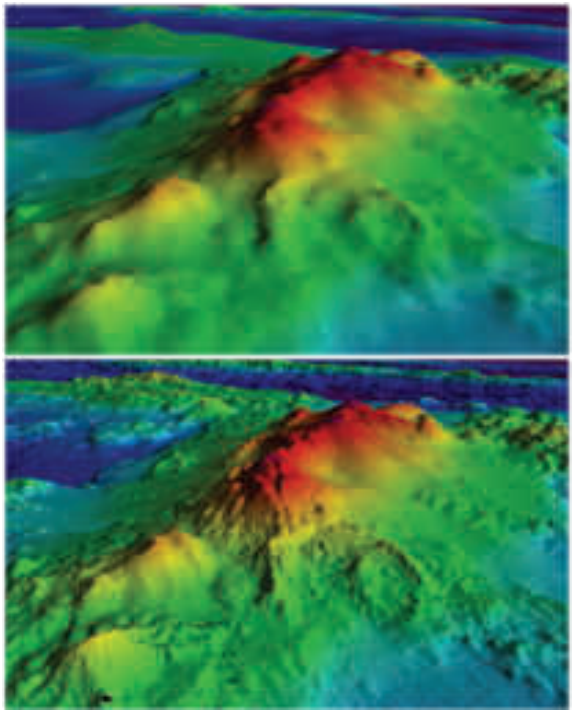


Fig. 6. MB com diferentes resoluções do monte submarino Gigante, nos Açores.

O mapeamento do fundo marinho permitirá assim o conhecimento pormenorizado da orografia dos montes submarinos, cujo interesse científico tem vindo a crescer. Tratando-se de ecossistemas importantes, a sua morfologia tem especial relevância, uma vez que influencia a sua ecologia e biodiversidade, a sua hidrodinâmica e, consequentemente, a deposição de sedimentos e de matéria orgânica.

Neste sentido, para além dos dados batimétricos, a infraestrutura de dados deve incluir catálogos de estruturas de interesse científico, nomeadamente, montes submarinos, fontes hidrotermais, *wrecks*, entre outras.

4.3. Integrar informação de outras fontes (cruzeiros científicos estrangeiros)

Todos os anos, diversos cruzeiros científicos estrangeiros, com a devida autorização, adquirem dados nos espaços marítimos nacionais. No entanto, nem sempre os resultados destes cruzeiros têm sido disponibilizados em tempo útil ao IH.

Em 2019, o IH encetou contactos com entidades congéneres estrangeiras[6] responsáveis por alguns desses cruzeiros, a fim de aceder de uma forma mais célere aos respetivos dados batimétricos (figura 7). Estes são normalmente disponibilizados em bruto (*raw*), pelo que a sua integração não é imediata, exigindo o seu processamento prévio. Não obstante, representam uma contribuição importante para o projeto SEAMAP 2030, uma vez que: aumentam a cobertura batimétrica, nas áreas onde não existem dados nacionais e aumentam a densidade, onde eles já existem, permitindo melhorar a resolução dos MB.

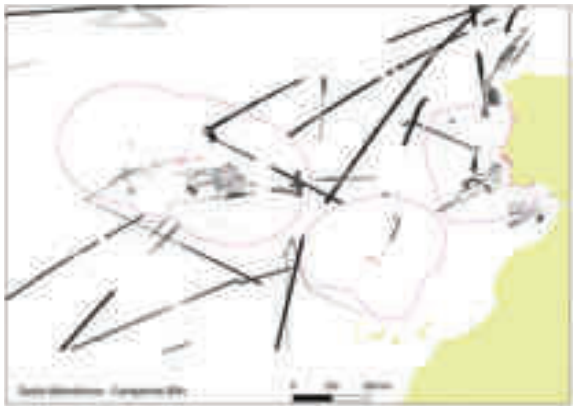


Fig. 7. Cobertura batimétrica de cruzeiros científicos realizados pelo BSH nos espaços marítimos nacionais.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho procurou apresentar os fundamentos do plano estratégico do projeto SEAMAP 2030: visão, missão e objetivos.

Trata-se de um projeto iniciado pelo IH, mas que, pelo seu âmbito (inserido numa conjuntura global) e relevância (científica, económica, securitária) deveria ser encarado como um desafio de cariz nacional.

Como linha de desenvolvimento futuro, sugere-se a definição, dentro de cada objetivo, das linhas de ação e iniciativas estratégicas específicas que os concretizem.

REFERÊNCIAS

British Antarctic Survey, 2020. *Multibeam echosounder.* [Online] Disponível em: https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/rrs-james-clark-ross/multibeam-echosounder-2/ [Acedido em 27 agosto 2020].

Seabed 2030, 2017. *The Nippon Foundation: GEBCO Seabed 2030 Mission Statement.* [Online] Disponível em: https://www.gebco.net/documents/seabed2030_brochure.pdf [Acedido em 27 agosto 2020].

Seabed 2030, 2020. *Nearly a fifth of world's ocean floor now mapped.* [Online] Disponível em: https://seabed2030.gebco.net/news/gebco_2020_release.html [Acedido em 27 agosto 2020].

[6] *Federal Maritime and Hydrographic Agency of Germany* (BSH), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *National Oceanography Centre* (NOC).

O Registo Nacional de Dados Geográficos e o novo Geoportal do Sistema Nacional de Informação Geográfica

Furtado, D. (1); Patrício, P. (1); Bica, V. (1); Silva, H. (1); Fonseca, A. (1); Gomes, A. L. (1); Serronha, A. (1); Ferreira, S. (1); Caetano, M. (1)

(1) Direção-Geral do Território.

Resumo: O Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) é a Infraestrutura Nacional de Informação Geográfica, coordenada a nível operacional pela Direção-Geral do Território (DGT). Em 2015 foi iniciada uma reestruturação desta infraestrutura e em 2019 foi lançado o novo Geoportal do SNIG, que formalizou também a criação do Registo Nacional de Dados Geográficos (RNDG).
O RNDG está integrado no SNIG e o seu acesso é realizado através do geoportal desta infraestrutura. A formalização do RNDG decorreu da profunda reestruturação dos conteúdos do catálogo de metadados e da implementação de novos mecanismos de pesquisa do novo Geoportal do SNIG.
Esta infraestrutura está desenvolvida em tecnologia Open Source e teve como objetivo o desenvolvimento de novas funcionalidades que visam facilitar a consulta, pesquisa e visualização dos metadados e da informação geográfica registada nesta plataforma.
Esta comunicação tem como principal objetivo apresentar os novos desenvolvimentos do Geoportal do SNIG e a implementação do RNDG.

Palavras-chave: informação geográfica, INSPIRE, metadados, RNDG, SNIG.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) é a Infraestrutura de Informação Geográfica (IIG) nacional que permite o registo e a pesquisa de toda a informação geográfica produzida por entidades públicas e privadas em Portugal. O SNIG foi criado em 1990, sob a coordenação do Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), sendo a primeira infraestrutura de informação geográfica da Europa. Em 2015, a DGT decidiu fazer uma reorientação estratégica desta infraestrutura (Patrício *et al*., 2018) e em 2016 o Conselho de Orientação do SNIG (CO-SNIG) aprovou a visão SNIG2020, uma visão do SNIG para 2020 e o seu Plano de Ação. Seguindo as suas orientações, o GeoPortal do SNIG foi desenvolvido com base em tecnologia *Open Source* (Furtado *et al*., 2018).
No GeoPortal do SNIG (http://snig.dgterritorio.pt) é possível pesquisar, explorar e visualizar dados geográficos através de serviços de dados geográficos OGC (Open Geospatial Consortium). O SNIG também apoia todas as atividades relacionadas com a implementação da Diretiva INSPIRE em Portugal.
O Registo Nacional de Dados Geográficos (RNDG) é o catálogo de metadados de toda a informação geográfica produzida por entidades públicas e privadas em Portugal e foi criado pelo Decreto-Lei n.º 180/2009, de 7 de agosto. Está integrado no novo SNIG e é acessível através do GeoPortal dessa infraestrutura. O RNDG foi formalizado em 2019 e, em simultâneo, foi realizada uma profunda reestruturação do conteúdo do catálogo de metadados. Essas mudanças coincidiram com a implementação do novo GeoPortal do SNIG.

2. MELHORIA DO CATÁLOGO DE METADADOS

O desempenho correto e eficaz de um catálogo de metadados depende muito da qualidade dos registos dos metadados. O novo GeoPortal do SNIG permite pesquisar metadados através de filtros pré-definidos, que funcionam com base em palavras-chave e campos de metadados específicos.
Foi efetuada uma análise dos registos de metadados existentes no SNIG de forma a identificar os aspetos a melhorar, nomeadamente para identificar os que estavam desatualizados, duplicados ou incompletos, com campos incorretos e não conformes com o Perfil Nacional de Metadados para Informação Geográfica - MIG (Ferreira *et al*., 2018).
A DGT elaborou um documento que descreve as regras a observar e que foi utilizado como guia para todas as entidades que possuem metadados no SNIG. As principais alterações introduzidas consistiram na introdução de novas palavras-chave e na melhoria do preenchimento de vários campos de metadados, tais como os da política de dados, localização geográfica e formatos de distribuição. O principal objetivo destas alterações foi assegurar uma resposta eficaz às pesquisas efetuadas através dos filtros disponíveis no RNDG.
De notar que no novo GeoPortal coexistem dois catálogos de metadados:

1. O catálogo de metadados do RNDG, que é a base para as pesquisas e contém todos os registos de metadados dos Conjuntos de Dados Geográficos (CDG);

2. O Catálogo de metadados INSPIRE, um catálogo virtual obtido a partir do anterior, que garante o cumprimento das obrigações de Portugal ao abrigo da Diretiva INSPIRE, nomeadamente o mecanismo de recolha do GeoPortal INSPIRE, e contém os metadados dos conjuntos de dados e serviços, referenciados com a palavra-chave "INSPIRECORE".

3. SOFTWARE

A nova plataforma do SNIG foi construída com recurso a tecnologia *Open Source* e tem um *design* melhorado para tornar a interface mais dinâmica e de fácil utilização. Foi desenvolvida utilizando vários módulos de diferentes pacotes de software *Open Source*. A integração destes componentes foi feita através das suas API's.
A interface do GeoPortal foi personalizada para otimizar a pesquisa e o acesso à informação geográfica e foram criados plug-ins para ampliar as capacidades do software GeoNetwork. Foram feitas alterações no Geonetwork Core para permitir pesquisar apenas os metadados de CDG, no entanto, foi mantido o suporte para outros tipos de registos (por exemplo, Serviço de Dados Geográficos). Foi criado um plug-in para implementar as regras e estrutura do esquema do Perfil MIG.

4. GEOPORTAL DO SNIG

A parte mais visível do SNIG é o seu GeoPortal, onde estão implementadas as principais funcionalidades duma IIG. O GeoPortal do SNIG tem três componentes principais: Aceder, Partilhar e Saiba Mais (Fig. 1.).



Fig. 1. Página inicial do Geoportal do SNIG.

A componente *Aceder* é o ponto de entrada para o RNDG no qual o catálogo de metadados está implementado. A função de pesquisa, com *auto-complete*, está disponível a partir desta componente, assim como pesquisas temáticas e estruturadas realizadas através de diferentes filtros e pesquisas por área geográfica. Os resultados da pesquisa podem ser agregados e ordenados de acordo com vários critérios de relevância definidos pelo utilizador.
O componente *Partilhar* descreve a forma de partilhar informação geográfica e como promover sua interoperabilidade.
A componente *Saber mais* permite uma compreensão mais profunda do SNIG, nomeadamente: a legislação associada, a evolução do SNIG e os seus diferentes níveis de coordenação, as redes e grupos existentes, as infraestruturas de informação geográfica regionais e locais e a implementação da Diretiva INSPIRE em Portugal. Esta componente envolve também uma secção com Notícias e um Arquivo que contém documentos tais como relatórios técnicos, legislação ou relatórios de reuniões de grupo de trabalho.
As principais funcionalidades do SNIG são:
– Pesquisar e descobrir registos de metadados de CDG e séries;
– Visualizar e criar mapas a partir de Serviços de Dados Geográficos (SDG);
– Criar, editar e publicar metadados;
– Efetuar a colheita de metadados (*Harvesting*).

A colheita de metadados pode ser feita através dos seguintes métodos:
– Serviços CSW;
– Sistema de arquivo local;
– WAF (Web Access Folder).

5. ACESSO À INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA ATRAVÉS DO RNDG

A pesquisa de informação é a principal componente do novo GeoPortal. O SNIG permite aos utilizadores pesquisar dados por dois critérios (Fig. 2.):
– "O quê..." através de pesquisa nos seguintes campos de metadados "Título" e "Palavra-chave";
– "Onde..." em que pesquisa o texto considerando a sua localização geográfica.



Fig. 2. Pesquisa por "O quê?" e "Onde?".

O RNDG, que é a base para as pesquisas, contém apenas metadados de CDG, não permitindo uma pesquisa direta de metadados de SDG, decisão tomada em virtude destes metadados estarem associados aos primeiros.
O catálogo de metadados permite que os utilizadores realizem pesquisas livres com *auto-complete*, temáticas e estruturadas realizadas através de filtros, assim como pesquisas por área geográfica. Os resultados das pesquisas podem ser agregados e

ordenados usando vários critérios de relevância (Fig. 3.).



Fig. 3. Pesquisa usando os critérios Dados Abertos, Visualização e Descarregamento e Portugal Continente.

O GeoPortal do SNIG possui os seguintes filtros:

- POLÍTICA DE DADOS - identifica as restrições de acesso e utilização dos dados;
- SERVIÇOS - identifica os tipos de SDG disponíveis (visualização e descarregamento);
- TEMAS - identifica o tema principal do CDG. É uma classificação temática geral utilizada para auxiliar o agrupamento e pesquisa do CDG. Os temas são provenientes e identificados pela lista de Códigos Categoria Temática da norma ISO 19115;
- ENTIDADE RESPONSÁVEL - identifica o Nome da Organização responsável pelos dados;
- COBERTURA GEOGRÁFICA - identifica a área coberta pelos dados definida através de identificadores geográficos (Portugal, Continente, Regiões Autónomas e Local);
- CARTOGRAFIA - identifica a situação da Cartografia (homologada, oficial, outra);
- ESCALA - identifica o nível de detalhe dos dados, expresso como um fator de escala (utilizado para dados vetoriais);
- RESOLUÇÃO - identifica o nível de detalhe dos dados, expresso como uma distância no terreno (utilizado para dados Matriciais).
- DATA DE REFERÊNCIA – identifica a data de criação ou recolha do recurso;
- REPORTADOS DIRETIVA INSPIRE - identifica os dados que respeitam e são reportados no âmbito da Diretiva INSPIRE;
- FORMATOS DE DISTRIBUIÇÃO - identifica o formato em que o recurso se encontra disponível aos utilizadores.

A informação incluída no SNIG é catalogada para permitir um acesso fácil e rápido aos dados. Quando os serviços de visualização e descarregamento estão acessíveis, os utilizadores podem obter o seu URL ou visualizar os dados diretamente usando o Visualizador de Mapas do SNIG (Fig. 4)



Fig. 4. Acesso aos Serviços de Dados Geográfico.

6. EDITOR DE METADADOS

Os metadados são fundamentais numa IIG, pois permitem aos utilizadores saber que CDG existem e se eles são acessíveis e adequados para um propósito específico. Os metadados submetidos ao RNDG devem estar em conformidade com o Perfil de Metadados Português (Perfil MIG), baseado nas normas ISO 19115 / ISO 19119 / ISO 19139, OGC e INSPIRE.

No processo de reestruturação do SNIG, foi incluído no Geonetwork um esquema de metadados para os perfis nacional (MIG) e INSPIRE.

O GeoPortal do SNIG inclui também um Editor de Metadados online. Os metadados criados usando este editor estão em conformidade com as normas referidas anteriormente (Fig. 5.).



Fig. 5. Painel de controle (dashboard) do editor de metadados.

A ferramenta de edição de metadados descreve um CDG e permite as seguintes ações:

- Criar metadados para conjuntos de dados, séries e serviços;
- Importar novas entradas de metadados no catálogo de metadados a partir de outro editor de metadados;
- Atualizar e gerir as fichas de metadados existentes no catálogo de metadados;
- Eliminar as fichas de metadados existentes no catálogo de metadados;
- Validar metadados de acordo com os perfis MIG, ISO e INSPIRE;
- Exportar metadados para formato XML, ZIP, PDF e CSV

7. VISUALIZADOR

O visualizador de mapas do SNIG é uma ferramenta que dispõe de uma interface amigável que permite visualizar e sobrepor dados geográficos (mapas temáticos, ortofotos, etc.) permitindo a criação de novos mapas. Estes dados podem ter diferentes formatos e coordenadas, bem como estar situados em servidores distintos, distribuídos geograficamente e pertencer a diferentes organizações e instituições.
O visualizador do SNIG, tem como mapa base o Open Street Map, permite realizar algumas operações, como por exemplo: adicionar e remover SDG, executar funções de navegação e consultas básicas, modificar a ordem de visualização, definir transparências, efetuar pesquisas, consultar metadados e imprimir a zona visualizada.
Este visualizador pode ser utilizado a partir do catálogo de metadados do SNIG ou como ferramenta autónoma (Fig. 6).



Fig. 11. Visualizador do SNIG

8. CONCLUSÕES

Com o novo GeoPortal do SNIG é mais fácil a pesquisa, consulta e acesso aos dados, utilizando uma tecnologia inovadora o que irá definitivamente contribuir para aumentar a utilização dos CDG em Portugal. O processo de reestruturação do RNDG, que está intrinsecamente relacionado com o desenvolvimento do SNIG, melhorou e consolidou o conteúdo do catálogo de metadados, permitindo pesquisas mais eficientes e resultados mais eficazes.
A implementação do INSPIRE em Portugal, apoiada por este novo SNIG, pode agora continuar o seu curso utilizando uma plataforma mais intuitiva e bem estruturada.
Prevê-se que com o novo GeoPortal do SNIG mais entidades públicas registem os seus CDG nesta plataforma e que, em consequência, aumente também o número de utilizadores.
Por fim, esta infraestrutura irá desempenhar um papel relevante na iniciativa do Mercado Único Digital em Portugal.

Agradecimentos

O novo Geoportal do SNIG foi construído com o apoio estratégico das entidades do CO-SNIG. Este desenvolvimento foi parcialmente financiado por fundos europeus através de um aviso promovido pela Agência Portuguesa de Modernização Administrativa (AMA), DIPIGeo - Desmaterialização, Interoperabilidade e Partilha de Informação Geográfica.

REFERÊNCIAS

Ferreira, S., Silva, H, Furtado, D, Patrício, P., Caetano, M. (2018). Metadados no Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG): Uma Análise Crítica. *IX CNCG – IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, Amadora, Portugal.

Furtado, D., Bica, V., Patrício, P., Silva, H., Fonseca, A., Gomes, A. L., Serronha, A., Caetano, M. (2018). Evolução do Sistema Nacional de Informação Geográfica e a implementação da Diretiva INSPIRE em Portugal. *IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, Amadora, Portugal.

Furtado, D., Patrício, P., Bica, V., Silva, H., Fonseca, A., Gomes, A. L., Serronha, A., Caetano, M. (2018). INSPIRE implementation in Portugal and recent developments in the Portuguese National Spatial Data Infrastructure. *INSPIRE Conference 2018*, Antuérpia, Bélgica.

Patrício, P., Furtado, D., Silva, H., Bica, V., Fonseca, A., Gomes, A. L., Serronha, A., Caetano, M. (2018). O Sistema Nacional de Informação Geográfica e a Implementação da Diretiva INSPIRE em Portugal: situação atual e evolução prevista. *V Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, Portugal.

Gestão de Campanhas no Hidrográfico+

Almeida, S.; Nunes, P.; Veiga, L.; Borges, C.; Melo, R. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa.

Resumo: Caracterizar e compreender o oceano obriga a observar as suas propriedades físicas, químicas ou geológicas. As grandezas, armazenadas e organizadas na forma de dados são a matéria-prima usada pelos investigadores para testarem a validade dos modelos explicativos dos fenómenos. O Instituto Hidrográfico desenvolve vários projetos onde são recolhidos dados com múltiplos sensores para diversificados fins. Esta realidade induz complexidade na gestão de dados e obriga à harmonização de processos de gestão do ciclo de vida dos dados com objetivo de obter informação fiável e de qualidade.
A gestão das campanhas realizadas no cumprimento daquele objetivo - caracterizar e compreender o oceano – foi alvo de um procedimento interno de harmonização para que, independentemente da área técnico-científica que origina os dados, estes percorreram as mesmas etapas e integrem uma infraestrutura e catálogo comuns.
O tópico deste artigo é o trabalho desenvolvido para implementar esta organização, no âmbito do projeto Hidrográfico mais.

Palavras-chave: campanhas, gestão de dados; perfil de metadados.

1. INTRODUÇÃO

A informação geoespacial marinha é um ativo basilar na gestão do espaço marítimo.
As observações *in-situ* feitas com recurso a um conjunto diversificado de meios, são bastante dispendiosas, no entanto, é inquestionável o interesse desta aquisição. Pela sua unicidade é importante assegurar a preservação e a sua gestão criteriosa.
Na preparação para a entrada na próxima década das Nações Unidas, a necessidade de um aumento considerável da cooperação entre países e o interesse na realização de estudos com análises globais, mais relevante torna a motivação na organização deste tipo de dados.

2. O MODELO

A gestão de dados técnico-científicos deve ser modelada estabelecendo um conjunto de referenciais, entre os quais o modelo de gestão do ciclo de vida desses dados. Optou-se por adotar o modelo linear exposto na figura 1, da *United States Geological Survey* (USGS) por ser aberto e bem documentado, ajustando-se à realidade do Hidrográfico (IH). Para tal, serão desenvolvidos processos que acompanham as várias fases deste ciclo.

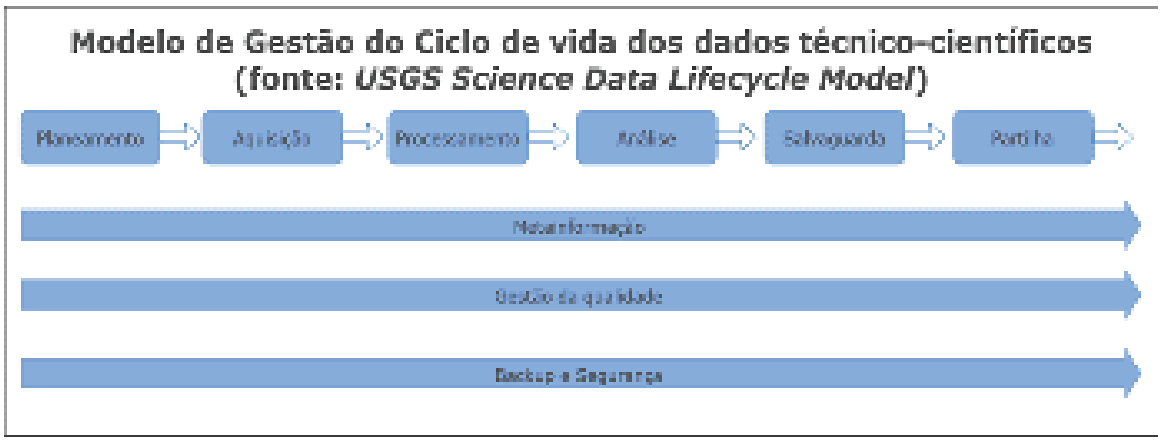


Fig. 1 –Modelo de gestão dos dados técnico-científicos

A realização de campanhas para recolha de dados tem sido uma atividade permanente no IH.

A campanha (missão hidro-oceanográfica) define-se como o conjunto de operações realizadas para a

aquisição, processamento e análise de dados técnicos nas áreas de Hidrografia ou Oceanografia, nas diferentes temáticas de química, física, geológica ou biológica.

Devido à diversidade de técnicas e processos envolvidos, o IH identificou a necessidade de criar um sistema multidisciplinar, coerente e harmonizado para o lançamento na área técnica, de uma estrutura que permitisse um arquivo a longo termo, dando resposta a todas as questões relacionadas com as missões realizadas.

Para apoiar o processo de desenvolvimento aplicacional do sistema foi desenhado um plano de trabalho com várias fases sequenciais que permitisse maximizar o conhecimento tácito dos gestores de dados (figura 2).

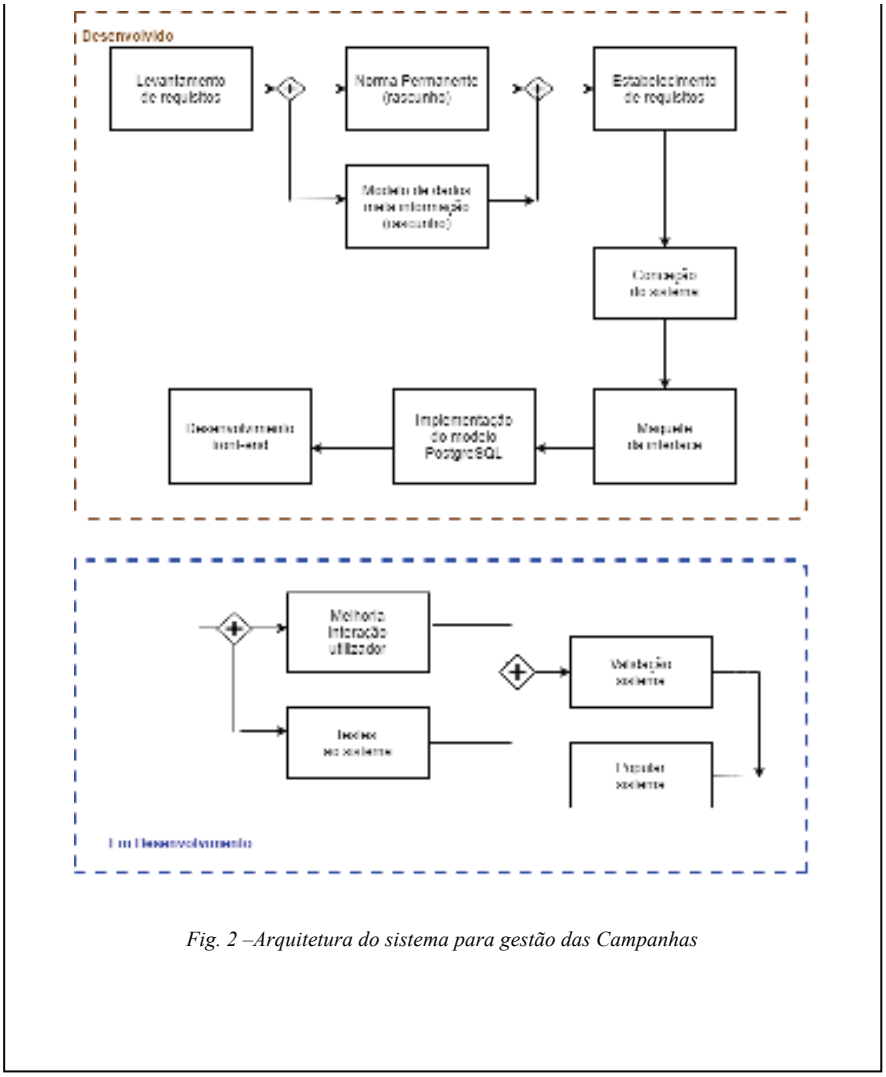


Fig. 2 –Arquitetura do sistema para gestão das Campanhas

Assim foi constituído um grupo de trabalho com elementos dos vários setores da área Técnica para identificação dos requisitos necessários àquela edificação. Uma vez reconhecidos os pontos chave assim como o período de tempo alocado a cada atividade, foi apresentada uma proposta de modelo de dados e respetiva meta-informação associada, tendo sido desenhada uma Norma Permanente sobre a temática (figura 2).

No projeto Hidrografico+ foi prevista a integração das campanhas do IH. Assim, face aos requisitos definidos pela área técnica coube ao prestador do serviço a conceção do sistema e a apresentação da maquete da arquitetura criada. As etapas desenvolvidas apresentam-se na figura 2, circundadas pela linha castanha.

Todo o sistema foi sustentado pela criação de uma base de dados em PostgreSQL (figura 4), que permite gerir toda a informação relativa às campanhas. Seguindo as orientações de boas práticas (JCOMM, IOC, OBPS), a construção de toda a estrutura foi pensada de modo a alcançar o principio dos dados FAIR: *findable*, *accessible, interoperable and reusable* (figura 3). Para garantir que a informação se encontra, a qualidade dos metadados é critica. Tem de assegurar-se de um modo claro, a resposta às questões: Que dados são? Onde foram obtidos? Quando? Que equipamentos foram utilizados? Quem foi o responsável? A quem dar crédito e como referenciar estes dados? A explicitação adequada destas questões permitirá melhorar o resultado da pesquisa. Assim como, uma catalogação com palavras chave, também contribuirá para originar melhores resultados.



Fig. 3 Princípios FAIR

Para atingir a harmonização e a consistência, valorizando a interoperabilidade foram utilizadas listas de vocabulário pré-definidas e em uso pela comunidade oceanográfica.

Mas a gestão das campanhas pretende ir um pouco mais além da disponibilização dos dados de forma aberta, uma vez sejam adquiridos. O objetivo é que estes sejam reutilizados por outros para diferentes fins, por isso está a trabalhar-se na correta identificação destas coleções com a atribuição de DOI's (*Digital Object Identifier)*. Existe ainda a intenção da ligação ao Repositório Cientifico de Acesso Aberto de Portugal (RCAAP). Aqui poderão ser consultadas publicações quer ao nível académico, como teses de mestrado ou doutoramento, quer



Fig. 4 – Modelo da base de dados em PostgreSQL

trabalhos científicos, como artigos ou relatórios, que estejam de alguma forma relacionadas com determinada campanha.

3. PROGRESSO DE TRABALHO

Atualmente o trabalho decorre nas etapas apresentadas na figura 2, e que estão circundadas pela linha azul.

O detalhe observacional é outra componente do processo, sendo que as linhas de orientação a seguir são idênticas às já referidas anteriormente (figura 5).

A próxima etapa será a preparação de metadados e correspondentes dados das observações para interligar geograficamente com as campanhas já catalogadas.

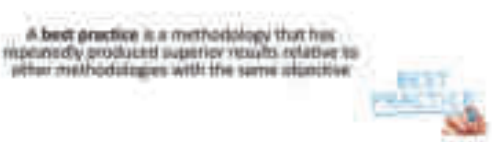


Fig. 5 – Extraida da apresentação de Pearlman, Jay - BP and OBPS Background

O arquivo dos dados associados a cada campanha é uma parte do processo relevante.

Com responsabilidades repartidas pelos vários intervenientes, há que garantir exatamente quais as ações a tomar, com o objetivo de criar um arquivo bem documentado, que possibilite a preservação a longo termo, com a consequente disponibilização dos dados e informação, sempre que necessário.

4. CONCLUSÃO

O modelo de desenvolvimento iterativo adotado para este projeto tem-se manifestado adequado e tem permitido desenvolver um trabalho que potencia o envolvimento e exploração do conhecimento tácito dos gestores de cada uma das divisões técnicas. O IH acredita que este envolvimento desde as fases iniciais de edificação do sistema vai permitir que os gestores fiquem familiarizados com o sistema de gestão de campanhas e possam contribuir para a melhoria continua do mesmo.

O processo de desenvolvimento aplicacional continuará o seu curso por mais alguns meses, contudo, a dinâmica de trabalho criada permitiu desenhar os diversos componentes de interface, alinhados com as necessidades específicas dos múltiplos gestores, e elaborar algums dos documentos orientadores do processo de gestão das campanhas.

REFERÊNCIAS

International Oceanographic Data and Information Exchange (2016) Guidelines for a Data Management Plan. Paris, France, UNESCO, 16pp. (Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals and Guides;73). http://hdl.handle.net/11329/275.

The Open Science Training Handbook, https://book.fosteropenscience.eu.

http://ioc-unesco.org/ (acedido em 2020-09-08).

NERC Vocabulary Server, https://www.bodc.ac.uk/resources/products/web_services/vocab/ (acedido em 2020-01-22).

https://www.ices.dk/data/guidelines-and-policy/Pages/default.aspx (acedido em 2020-03-04).

International Standards, http://www.iso.org/home.html (acedido em 2020-09-09).

https://www.natureindex.com/ (acedido em 2020-09-08).

https://www.oceanbestpractices.org/ (acedido em 2020-08-31).

https://www.rcaap.pt/ (acedido em 2020-02-28).

Wilkinson, Mark D. et al. – The Fair Guiding Principles for scientific data management and stewardship. DOI:10.1038/sdata.2016.18.

Sistema de Informação para a Gestão da Atividade dos Cruzeiros Científicos

Brardo, M. (1)

(1) Escola Naval. Email: figueiredo.brardo@marinha.pt

Resumo: Em 2009, Portugal apresentou à Comissão de Limites da Plataforma Continental nas Nações Unidas a sua Proposta de Extensão da Plataforma Continental, efetivando-se a extensão, o espaço marítimo nacional será cerca de 40 vezes maior que a área emersa de Portugal Continental.

A Plataforma Continental e os restantes espaços marítimos de soberania e ou jurisdição nacional têm um potencial estratégico derivado dos recursos minerais, energéticos e biogenéticos aí localizados. Também no domínio das ciências marinhas, estes espaços, apresentam um atrativo. Esse interesse no "Mar Português" reflete-se no número de visitas dos cruzeiros científicos estrangeiros, cuja atividade é objeto de autorização e monitorização.

O artigo descreve o processo de desenvolvimento do Sistema de Gestão e Acompanhamento dos Cruzeiros Científicos (SGACC) projetado para gerir os processos de autorização, monitorização e controlo dos cruzeiros científicos estrangeiros a operar nos espaços marítimos de interesse e ou responsabilidade nacional.

Palavras-chave: cruzeiros científicos, espaço marítimo nacional, gestão, sistema de informação.

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos, realizam-se no espaço marítimo sob soberania e ou jurisdição nacional diversas campanhas de investigação científica por navios nacionais e estrangeiros, que recolhem informação valiosa para o aumento do conhecimento científico e do potencial estratégico do mar português. Assim, a realização de campanhas científicas por parte de entidades internacionais, requer um processo de autorização objetivo e um controlo e acompanhamento rigoroso das atividades. Por outro lado, o valor da informação recolhida, cuja utilidade para Portugal é inquestionável, justifica que seja pensada uma forma de tornar esta informação disponível à comunidade científica, aos organismos responsáveis pelo controlo e monitorização e às entidades responsáveis pela definição e execução de políticas públicas do mar.

Contudo, o armazenamento e gestão da informação respeitante aos cruzeiros científicos não se encontra padronizada nem centralizada numa única plataforma. Atualmente as instituições com responsabilidade na atribuição de autorizações, no controlo e acompanhamento das campanhas fazem uso de ferramentas diversas, não existindo um cruzamento significativo de dados entre todos os intervenientes, o que dificulta a realização de análises aprofundadas, o cruzamento de grandes quantidades de informação e a produção de relatórios análogos. Também no âmbito de disponibilização de informação, não existe nenhuma plataforma digital aberta ao publico que permita a visualização e articulação dos dados das campanhas científicas.

O desenvolvimento de um Sistema de Gestão e Acompanhamento dos Cruzeiros Científicos (SGACC) torna-se assim essencial para colmatar as dificuldades existentes na administração, gestão e disponibilização da informação.

As vantagens de utilização deste sistema são múltiplas: convergir numa única plataforma de fácil acesso os dados das campanhas científicas; facilitar a compreensão dos dados fornecidos pelos cruzeiros de investigação científica aquando do processo de autorização; facilitar o controlo e acompanhamento visual das atividades; difundir por toda a comunidade os dados das campanhas científicas desenvolvidas no espaço marítimo nacional; entre outras. Por outras palavras o SGACC é a ferramenta que vem convergir todos os dados das campanhas científicas numa única plataforma, evitando a replicação e heterogeneidade de informação, disponibilizando-a para um alargado conjunto de utilizadores.

2. MÓDULO BASE DE DADOS

Para a conceptualização deste sistema torna-se inevitável a existência de uma base de dados para armazenar e organizar de forma relacional toda a informação relativa aos cruzeiros de investigação científica. Esta base de dados serve assim, como o próprio nome indica, de base para todos os desenvolvimentos futuros, pois toda a informação geográfica e alfanumérica derivará desta.

2.1. Análise de requisitos

O primeiro passo na construção de uma base de dados é entender quais os dados a serem armazenados e

quais os requisitos de desempenho. Como tal, precisamos de perceber quais as necessidades de utilização da base de dados por parte de um utilizador (Ramakrishnan & Gehrke, 2000).

As três grandes bases utilizadas para a concetualização da estrutura da base de dados foram a proposta de lei de 2015, que visa regulamentar as atividades de investigação científica marinha realizadas por Estados estrangeiros ou organizações internacionais no espaço marítimo nacional e nas águas interiores, o nº 1 do artº 19 do Decreto-Lei nº 52/85, de 1 de março, e o nº1 do artº 249 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), mais especificamente os elementos que devem constituir os pedidos de autorização. Nestes constam várias informações que devem ser recolhidas das campanhas científicas no processo de autorização, pelo que a base de dados deve estar orientada para armazenar toda essa informação.

Assim, sistema de gestão da bases de dados permite realizar as seguinte tarefas:

- Realizar o carregamento da informação (geográfica e alfanumérica);
- Realizar a inserção, alteração, atualização e eliminação de registos;
- Listar as campanhas científicas desenvolvidas no espaço marítimo português;
- Listar as instituições promotoras das campanhas científicas;
- Listar os membros da equipa do cruzeiro científico (cientista responsável e representante do estado costeiro);
- Listar os meios utilizados nas campanhas científicas (navios e veículos autónomos);
- Listar o planeamento de portos de visita com os respetivos agentes marítimos associados;
- Listar os métodos (perfurações, substâncias e explosivos) e equipamentos utilizados nas campanhas científicas;
- Armazenar informação geográfica relativa ao planeamento e execução da navegação ou da atividade;
- Gerir a documentação e dados (Notas verbais, mensagens, ofícios, relatórios, entre outros) referente aos cruzeiros;
- Consultar a base de dados.

2.2. Desenho lógico da base de dados

Para o desenho lógico da base de dados foi escolhido um sistema de gestão de base de dados (SGBD). O modelo de SGBD utilizado neste projeto é o sistema de gestão de bases de dados objeto-relacional (SGBDOR), que combina os melhores recursos do modelo relacional e do modelo orientado a objetos (Ramakrishnan & Gehrke, 2000).

O SGBD escolhido para este projeto foi o PostgreSQL com a extensão PostGIS como sistema de gestão de bases de dados geográficos, para o armazenamento de dados a utilizar no desenvolvimento e testes do protótipo.

Feita a escolha do SGBD a ser utilizado no projeto, dá-se agora a transformação do modelo entidade-relação num modelo lógico, ou seja, são estruturados os dados para que possam ser suportados pelo SGBD PostgreSQL (Figura 1). Nesta fase, procede-se à transformação das entidades em tabelas da base de dados, especificando as relações entre as tabelas e a integridade referencial. Uma das tarefas mais importantes desta fase consiste na normalização do modelo, que pode ser considerado como um processo de "filtragem" ou "purificação" por forma a aumentar a qualidade da base de dados (Elmasri & Navathe, 2016).



Figura 1 - Modelo lógico da base de dados

3. MÓDULO WEBSIG

Os cruzeiros de investigação científica operam em diversas áreas dos espaços marítimos nacionais, contendo estas campanhas um grande volume de dados espaciais. Assim, para melhor visualizar e difundir toda esta informação geográfica e administrativa pelas entidades responsáveis quer pelo processo de autorização quer pelo processo de monitorização e acompanhamento, bem como por toda a comunidade, em particular a científica, torna-se necessário disponibilizar, através da internet, todas as informações espaciais através de um WebSIG.

Esta, é uma ferramenta importante a implementar no SGACC, pois possibilita uma melhor gestão e análise de todos os dados das campanhas científicas através da visualização espacial da informação geograficamente referenciada. Por intermédio de um WebSIG o utilizador consegue aceder a um serviço, que inclui dados e ferramentas de análise que este necessita, onde encontra compilada toda a informação necessária, sendo atualizada a todo o momento.

Assim, com a aplicação WebSIG do SGACC, os utilizadores terão acesso, de uma forma fácil e amigável, a um vasto leque de dados geográficos e alfanuméricos das campanhas científicas, podendo fazer usos de várias ferramentas para simplificar a análise e consulta de informação.

3.1. Análise de requisitos

Na fase de identificação de requisitos do protótipo a desenvolver, considerou-se o desenvolvimento de uma aplicação WebSIG que incluísse funcionalidades para a visualização de mapas e respetivas operações de navegação, assim como funcionalidades de pesquisa de dados com base em condições alfanuméricas, funcionalidades estas que cobrem unicamente uma parte das potencialidades dos SIG (Brito, 2011). Assim identificam-se os seguintes requisitos para a construção de uma aplicação WebSIG:

- Visualizar a informação geográfica e alfanumérica, nomeadamente as áreas, os trajetos e as posições a realizar pelos cruzeiros de investigação;
- Determinar a localização geográfica da utilização de métodos (perfurações, substâncias e explosivos) e equipamentos;
- Disponibilizar a localização dos meios (navios, veículos autónomos ou aeronaves) utilizados nas campanhas científicas;
- Disponibilizar camadas de apoio à decisão (áreas marinhas protegidas, esquemas de separação de tráfego, cabos submarinos, entre outras);
- Disponibilizar funcionalidades de pesquisa, identificação e consulta espacial;
- Disponibilizar funcionalidades básicas de análise espacial ao utilizador.

3.2. Interface e funcionalidades implementadas

De forma a facilitar a utilização desta aplicação por parte das diversas entidades, é fundamental criar um design que não seja uma mudança radical face às aplicações existentes, por forma a diminuir a reticência na sua adoção, pois obrigaria um tempo de adaptação maior por parte dos utilizadores (Brito, 2011).

A Figura 2 ilustra a interface do protótipo desenvolvido, onde foram implementadas diversas ferramentas de navegação, desenho, medição e pesquisa.

Esta conceptualiza assim, o meio de acesso às informações e dados relativos às campanhas de investigação científica desenvolvidas nos espaços marítimos nacionais.



Figura 2 - Janela de entrada do WebSIG do SGACC

4. ARQUITÉTURA E ORGÂNICA DO SGACC

O desenvolvimento da SGACC foi baseado numa arquitetura cliente/servidor de três camadas, uma metodologia padrão que permite tornar a aplicação mais flexível, facilitando a alteração dos diversos níveis de forma independente (Zhang, 2011). As três camadas em que esta metodologia assenta são então: a camada de dados; a camada lógica; e a camada de apresentação (Figura 3).

A camada de dados refere-se ao espaço de armazenamento dos dados espaciais e não espaciais, que no caso específico do projeto, é onde se encontram alojados todos os dados geográficos e informações alfanuméricas relativas às campanhas de investigação científica. É nesta camada que ocorrem os pedidos de acesso a informação, oriundos da camada seguinte.

A camada lógica compreende o servidor de Internet e o servidor de aplicações, ou seja, é nesta camada onde se encontra o servidor de mapas, o servidor de HTTP, bem como todas as configurações que fazem a transmissão de pedidos da terceira camada para a camada de dados.

Por fim, a camada de apresentação é a camada que assiste como interface para que os utilizadores possam interagir com os dados espaciais e as funções de análise fornecidas pelo WebSIG, ou seja, é aqui que toda a informação resultante das camadas anteriores será representada de uma forma percetível e comum para os utilizadores.

Quanto à orgânica do sistema, esta assenta num servidor Web (Apache) que tem instanciado todo o código necessário para correr a aplicação. Ao ser feita uma chamada da aplicação através do seu endereço no browser, recorrendo ao protocolo HTTP, o servidor Web fornece ao navegador todo código alojado, sendo que este executará o script e efetuará as operações. Neste código existem chamadas a um servidor de mapas (GeoServer) por meio de um web feature service (WFS) sob a forma de um URL, onde é discriminado um conjunto de operações e parâmetros que permite questionar o servidor de mapas e que este responda de uma forma adequada. Assim, o Browser chama o servidor de mapas passando as operações (GetFeature) e os parâmetros pretendidos. Por sua vez, o servidor de mapas, que está em constante comunicação com a base de dados, efetua uma pesquisa a esta e devolve um ficheiro ao navegador no formato discriminado no pedido (GeoJson) com todas a informações requeridas. Por fim o browser faz a renderização de toda a informação e cria, de forma dinâmica, a interface do utilizador numa página HTML.

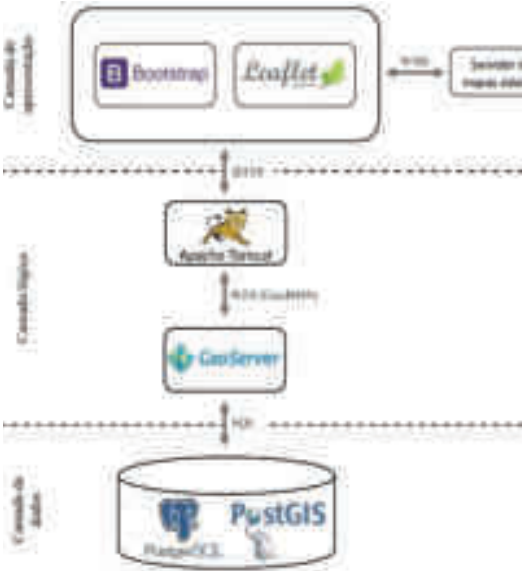


Figura 3 - Arquitetura do SGACC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para a evolução desta investigação, em concreto os oficiais, sargentos, praças e civis do Instituto Hidrográfico, da Direção-Geral de Autoridade Marítima e do Centro de Operações Marítimas e Centro de Análise e Gestão de Dados Operacionais do Comando Naval, que disponibilizaram o seu tempo para esclarecer as mais diversas dúvidas e para testar o presente sistema contribuindo com importantes pareceres para futuros desenvolvimentos.

Um agradecimento particular e muito especial ao capitão-tenente Paulo Jorge Antunes Nunes, elemento fundamental em todo o processo de elaboração do presente artigo, que disponibilizou inúmeras vezes tempo dedicado à sua vida profissional e pessoal em prol de me apoiar e esclarecer, constituindo-se como uns dos principais pilares.

REFERÊNCIAS

Elmasri, R., & Navathe, S. (2016). Fundamentals of Database Systems (Vol. 7). Pearson.

Brito, E. (2011). Publicação de Informação Geográfica na Web : Um Configurador Assente em Software de Código Aberto. Instituto Politétcnico de Viana do Castelo.

Ramakrishnan, R., & Gehrke, J. (2000). Database Management Systems. McGraw Hill.

Zhang, F. (2011). Design and Implementation of Open Source WebGIS Based upon RIA. In 2011 International Conference on Internet Technology and Applications. IEEE.

Modelação de Informação para Tomada de Decisão numa Unidade Naval

Afonso, D. (1); Correia, A. (1); Conceição, V. (1, 2); Moura, R. (1)

1) CINAV, Portuguese Naval Academy, Lisbon, Portugal, daniela.alexandra.afonso@marinha.pt.
2) Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Resumo: O volume de dados que as unidades navais produzem e transferem entre si, é elevado e diversificado. O modo como atualmente cada unidade recolhe e trata os dados dificulta a consolidação dos mesmos no processo de análise e tomada de decisão. Contudo, atualmente não existe nenhum repositório que armazene os dados produzidos nos navios, sendo estes perdidos imediatamente após o término da navegação. Para colmatar esta situação está a ser construído um sistema de Business Intelligence (BI), no qual um conjunto de processos analíticos recolhe, transforma e armazena todos os dados provenientes dos sensores das pontes das unidades navais. Este sistema permitirá um acesso mais rápido e completo a todos os dados relevantes no auxilio da tomada de decisão. Em suma, este projeto é extremamente relevante para a Marinha Portuguesa, visto trazer algo de inovador, promissor e seguro no âmbito operacional.

Palavras-chave: Conhecimento Situacional, Navegação, Business Intelligence, Data Warehouse, Modelação de dados.

1. INTRODUÇÃO

A Marinha Portuguesa (MP) tem como principal missão "contribuir para que Portugal use o mar" (Marinha Portuguesa, 2020b) na medida dos seus interesses económicos, políticos e geoestratégicos. O cumprimento da missão assenta num conjunto de processos - chave responsáveis pelos produtos operacionais, científicos e culturais, sendo o seu produto institucional, constituído por operações militares, tais como o combate à pirataria, missões de embargo e de interdição marítima, controlo da proliferação de armas, ações de busca e salvamento marítimo, fiscalização da pesca, investigação científica, entre outras (Marinha Portuguesa, 2020b).
No âmbito da sua atividade operacional, os navios devem retirar o máximo de informação possível do seu meio envolvente, de modo a praticar uma navegação mais eficiente e segura. Deste modo, estes navios produzem e transferem um grande volume e diversidade de dados, através de diversos sensores que constituem as suas pontes. Paralelamente, a atividade conjunta da equipa da ponte incorpora inúmeras perceções, juízos e ações dos vários elementos constituintes da equipa de navegação e que importa registar para efeitos de elicitação de conhecimento tácito coletivo.
Para que seja possível retirar informação relevante para a navegação dos dados provenientes dos sensores, sistemas de navegação e atividade da equipa é necessário haver uma integração dos mesmos. A informação recolhida deve ser processada, armazenada e disponibilizada a fim de não só sustentar no imediato a execução da navegação como também, permitir a sua posterior análise, sustentando processos contínuos de aprendizagem organizacional, do tipo *bottom-up*.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Na navegação é fundamental conhecer o meio envolvente o melhor possível por forma antecipar os riscos. Para que isso aconteça, o navegador ou o Oficial de Quarto à Ponte (OQP) devem ter uma boa perceção espacial, conhecendo os fatores ambientais, os sistemas ou as informações a analisar, assim como ter aperceção do estado da missão e das tarefas, tanto realizadas como a realizar (Wickens, 2002; Hareide, 2019).
A tecnologia tem permitido que cada vez mais tarefas sejam executadas e apoiadas por sistemas autónomos. Tornando-se o papel dos operadores cada vez mais dependente dos equipamentos, que auxiliam no controlo e supervisão do navio, apoiando a tomada de decisão (Conceição, 2018b; Conceição et al., 2018a).
De forma a ser possível praticar uma navegação em segurança é necessário saber, compreender e prever o que acontece no meio envolvente – Conhecimento Situacional (Endsley, Bolte, & Jones, 2003). A navegação deve ser apoiada e auxiliada por diversos sensores constituintes da ponte de um navio – E-*Navigation*. Estes sensores produzem imensos dados e, de forma a ser possível interpreta-los, é necessário haver a fusão da sua informação – *Data Fusion Multisensor*. O objetivo é transformar essa informação em conhecimento pertinente para a tomada de decisão através da análise humana, assegurando uma maior segurança na navegação.
Para se ter acesso aos dados provenientes dos equipamentos das unidades navais, bem como à fusão realizada entre eles é necessária a existência de um armazém de dados, onde estes estejam armazenados e possam ser trabalhados e processados.
O processo de recolha e processamento dos dados utilizado no presente projeto, designado por *Business Intelligence* (BI), consiste num repositório

de dados integrado que considera o fator tempo, regista tópicos relevantes para a organização, e apoia a tomada de decisão (B. Inmon & Krishnan, 2011, J. Machado et al., 2018).

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Nas unidades navais, as equipas são geralmente heterogéneas, as tecnologias e os sistemas disponíveis variam de navio para navio, a comunicação depende de sistemas eletrónicos e digitais e o ambiente natural destes espaços pode tornar-se bastante exaustivo e stressante. A bordo, a missão da guarnição é levar o navio de um local para outro em segurança e com a maior eficiência possível, sendo a principal função da equipa da ponte conduzir a unidade naval necessitando, para isso, de ter em conta 3 fatores essenciais: o planeamento da viagem, a quantidade de combustível necessária relativamente ao número de milhas a percorrer e a prevenção de riscos. Além destas questões, as incertezas e perturbações diárias a bordo tornam a navegação marítima um sistema crítico dinâmico e complexo (Conceição, 2018).

A navegação marítima é uma atividade complexa e dinâmica onde a segurança deve ser prioridade. Desta forma, torna-se necessário incorporar diversos dados provenientes de várias fontes, não bastando apenas recolhê-los e guardá-los, mas também submetê-los a uma fase de processamento, otimização e adaptação para validar a sua utilização. Pretende-se que esse processo seja feito com dados adquiridos em tempo real, a fim da informação recolhida e analisada auxiliar o indivíduo na tomada de decisão. Deste modo, torna-se relevante a conceção de uma solução para este problema, através de um sistema de BI.

3.1. Fontes de Dados

Numa unidade naval são produzidas grandes quantidades de dados oriundos de diversos sensores e equipamentos. Alguma da informação produzida e transmitida pelos sensores flui numa ou mais redes padrão do navio enquanto outra é registada em formato de papel em diferentes locais, consoante o seu tipo. Os navios contêm, portanto, diferentes tipos de dados, uns produzidos por elementos tecnológicos (equipamentos) e outros criados pela interação entre a informação retirada destes e a análise da mesma pelo elemento humano.

Os dados extraídos dos sensores das unidades navais da MP, associados à navegação, encontram-se com o formato NMEA – *National Marine Electronics Association*. Este formato permite a comunicação de dados entre os vários sensores e sistemas eletrónicos a bordo de uma unidade naval (Betke, 2000).

Uma grande fonte de informação nos navios é produzida e transmitida pelos elementos da guarnição que se encontram de quarto (ie de serviço). Estes dados constam, geralmente, em formato de papel e são preenchidos por diferentes elementos, consoante a sua função (Vítor Conceição et al., 2020; Estado-Maior da Armada, 2020).

Existem, ainda, outras fontes de informação, nomeadamente: o Formato do Comunicado *Ship* onde constam diversos dados meteorológicos; os relatos dos vigias do navio de marcações de contactos ou de azimutes a marcas estipuladas para o auxílio da navegação; os comunicativos são responsáveis por anotar todas as comunicações recebidas e transmitidas de e para outros navios, sejam estas feitas através de rádio, de sinais sonoros ou de bandeiras; o *Formex* 101 onde constam todas as ordens proferidas durante um quarto, sejam referidas pelo OQP ou pelo Comandante (CO) do navio, bem como todos os acontecimentos relevantes decorridos durante o mesmo; os elementos evolutivos do navio que dão um conjunto de informação referente às suas características de manobrabilidade, especificamente à maneira como reage aos efeitos do leme e do aparelho propulsor e; a profundida do navio ao fundo do mar, esse valor é calculado para um determinado local e num dado momento, tendo em conta a altura da maré indicada pelas Tabelas de Marés (Vítor Conceição et al., 2020; Estado-Maior da Armada, 2020; Estado-Maior da Armada, 2012; Marinha Portuguesa, 2020a).

3.2. Levantamento de Requisitos

Para a criação de um sistema de BI é necessário haver a formulação de requisitos e a estipulação de perguntas para ter como base na sua construção e *design*. A solução a ser criada deve ser capaz de dar resposta a diversas questões. As questões foram divididas em 3 níveis de acordo com o seu grau de complexidade: no nível 1 as perguntas são mais diretas; no nível 2 as perguntas têm de relacionar mais de que um conceito e; no nível 3 as perguntas mais complexas, uma vez que misturam diversas informações e conceitos abordados nas perguntas dos níveis anteriores, como ilustrado na Figura 1.

O sistema criado pretende dar resposta às diversas questões estipuladas sempre com a referência à data, hora e posição do navio em determinado momento referido ao dado.



Figura 1 - Exemplo de algumas questões a ser respondidas pelo sistema BI dos diferentes níveis.

3.3. Cenário a validar

O cenário considerado para a recolha de dados utilizados na construção da solução foi o planeamento de saída do Porto de Lisboa. Considerou-se que a navegação foi praticada por um navio da MP, estando, portanto, presentes a bordo todos os equipamentos/ sensores e fontes de informação referidos anteriormente neste capítulo. O navio largou de um cais da Base Naval de Lisboa (BNL) por volta das 10:00A do dia 20 de março de 2019, sendo que o registo dos dados só começou a ser efetuado passado 3 minutos após o navio ter largado do cais (às 10:03A). Os registos efetuados tiveram uma duração total de 36 minutos, terminando às 10:39A. Todos os dados foram registados de 30 em 30 segundos. As condições meteorológicas consideradas neste cenário estão em concordância com as condições reais existentes.
Para uma melhor visualização da área do cenário, a Figura 2 ilustra a zona em questão, assim como retrata a tracejado o possível planeamento onde serão recolhidos os dados.



Figura 2- Exemplo de um mapa do cenário considerado para a solução

4. CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DA SOLUÇÃO

O sistema BI que foi criado é um protótipo das possíveis faculdades e facilidades que este pode desempenhar. O esquema escolhido para a elaboração do BI foi o esquema em estrela, implicando que exista apenas uma tabela de factos. A escolha deste tipo de esquema deveu-se ao facto de possibilitar uma consulta de dados simples, bem como uma interpretação acessível dos mesmos, com uma boa flexibilidade. Caso seja necessário fazer alterações nos dados, podem ser feitas de forma flexível, por não ser necessário relacionar as dimensões umas com as outras. Neste tipo de esquema a tabela de factos assume a responsabilidade de fornecer os dados necessários a todas as tabelas de dimensão presentes.
O processo de edificação da modelação dimensional iniciou-se com o desenho do sistema BI. Aí os dados foram, distribuídos pelas diversas tabelas de dimensões e tabela de factos. Com base nesse modelo foi criado o *Data Warehouse* (DW) do BI.
O esquema do DW contém, assim, a tabela de factos, com uma chave primária (PK) e treze chaves estrangeiras (FK), com treze tabelas de dimensões ligadas a esta pelas FKs. Desta forma, a tabela de factos contém a componente quantitativa dos dados, enquanto as tabelas de dimensões contêm a componente qualificativa dos dados.
A construção do DW foi efetuada no SQL *Server Management Studio*, onde se construiu a tabela de factos e as tabelas das dimensões de acordo com o desenho definido anteriormente.
Após o modelo estar construído, efetuou-se o carregamento dos dados através do processo *Extract – Transformation – Load* (ETL). Neste processo os dados foram submetidos a uma fase de tratamento, eliminação de possíveis incoerências e análise, de forma a ficarem prontos para ser submetidos no modelo final.
De forma a ser possível visualizar a solução e verificar se está de encontro com os requisitos, foi necessário criar idealizar uma possível interface gráfica para projetar os dados presentes no DW criado.
Assim, usou-se como ferramenta de visualização dos dados, o *Power* BI *Desktop*. Esta ferramenta permite a criação de relatórios, constituídos por gráficos, matrizes, tabelas, mapas, entre outros que podem ser manipulados através de vários filtros. Desta forma, os relatórios criados com esta ferramenta, permitem ao utilizador fazer uma análise dos seus dados sob diferentes perspetivas.
Inicialmente, fez-se uma análise, de forma a estipular a informação que cada relatório iria conter e apresentar. Após essa reflexão, organizou-se os dados em três secções, sendo cada uma, constituída por relatórios diferentes.

Tabela 1- Seções dos relatórios

Secção	**Componentes da Secção**
Questões que podem ser respondidas pelo sistema	Questões que o sistema criado pode responder, tendo em conta os requisitos estipulados e o planeamento considerado.
Mapa com os dados relativos ao Planeamento Geral	Diferentes mapas ilustrativos onde se consegue observar todos os dados que o sistema dispõe, visualizando-se de acordo com a sua posição geográfica. Foram criados quatro mapas distintos.
Mapa com dados relativos a um Evento Específico	Diferentes mapas que ilustram apenas um evento em específico. Nomeadamente, separou-se os exemplos da seguinte forma: 1. Dados do Próprio Navio 2. Dados dos Contactos Avistados 3. Dados Meteorológicos (METOC) 4. Dados referentes ao Afastamento Lateral

Para ser possível criar os relatórios, foi necessário carregar os dados que se pretendiam utilizar para *Power* BI. Desta forma, fez-se o carregamento dos dados através da base de dados criada no SQL *Server*. Obteve-se assim a representação visual dos dados, carregados na base de dados dimensional, em

diferentes mapas. Pode-se observar um exemplo de um relatório na Figura 3.



Figura 3- Exemplo de relatório de um mapa com os dados do planeamento geral

5. AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Foi efetuada a avaliação da solução criada, através de um questionário, respondido por 50 inquiridos, tendo sido realizada posteriormente a análise dos resultados. A plataforma utilizada para a elaboração do inquérito foi a ferramenta de questionários *Google Forms*. O questionário foi constituído por 6 seções distintas, tendo como objetivo a recolha de informação necessária para avaliar a conformidade dos dados presentes no sistema de Business Intelligence criado para apoio à tomada de decisão de uma unidade naval, de forma a promover a eficiência e segurança da navegação.

Em suma, os resultados obtidos da adaptação da avaliação através do método *System Usability Scale* (SUS) e do teste de hipóteses, sugerem que o modelo da solução criada contém a informação necessária para servir de ferramenta de apoio à tomada de decisão na condução da navegação.

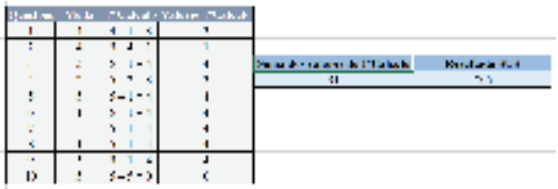


Figura 4 - Cálculos efetuados através do método SUS

6. CONCLUSÕES

O objetivo deste projeto foi a recolha, processamento, integração e análise dos dados oriundos dos múltiplos sensores na ponte de uma unidade naval de forma a permitir a obtenção de um panorama unificado, bem como, informação relevante para a tomada de decisão. Para isso construiu-se um sistema de BI como solução. Este sistema tem como finalidade transformar a informação proveniente dos dados em conhecimento pertinente para o apoio da tomada de decisão na condução da navegação.

A solução criada é um protótipo das possíveis funcionalidades que o modelo do sistema BI desenvolvido pode vir a desempenhar. Em suma, pode afirmar-se que o sistema proposto para obtenção do panorama unificado e conhecimento situacional marítimo é eficaz no fornecimento de informação relevante para a tomada de decisão numa unidade naval.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Betke, K. (2000). The NMEA 0183 Protocol. www.nmea.org

Conceição, Victor. (2018a). Designing for Safe Maritime Navigation Studying Control Processes for Bridge Teams. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28044.82567

Conceição, Victor. (2018b). Designing for Safe Maritime Navigation Studying Control Processes for Bridge Teams VICTOR FERNANDO PLÁCIDO DA CONCEIÇÃO. 98.

Conceição, Victor, Carmo, M. B., Dahlman, J., & Ferreira, A. (2018a). Visualization in Maritime Navigation: A Critical Review. Em N. A. Stanton (Ed.), Advances in Human Aspects of Transportation (Vol. 597, pp. 199–212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_20

Conceição, Victor, Carmo, M. B., Dahlman, J., & Ferreira, A. (2018b). Visualization in Maritime Navigation: A Critical Review. Em N. A. Stanton (Ed.), Advances in Human Aspects of Transportation (Vol. 597, pp. 199–212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_20

Conceição, Vítor, Teles, C., & Dahlman, J. (2020). The Anchoring Effect of Technology in Navigation Teams. Em N. Stanton (Ed.), Advances in Human Aspects of Transportation (Vol. 1212, pp. 436–443). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50943-9_55

Endsley, M. R., Bolte, B., & Jones, D. (2003). Designing for Situation Awareness. https://doi.org/10.1201/9780203485088

Estado-Maior da Armada. (2012). DISPOSIÇÕES GERAIS E CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA NAVEGAÇÃO INA 2 (A) (Ministério da Defesa Nacional). Marinha Portuguesa.

Estado-Maior da Armada. (2020). CONDUÇÃO DA NAVEGAÇÃO INA-4(A) (Ministério da Defesa Nacional). Marinha Portuguesa.

Inmon, B., & Krishnan, K. (2011). Building the Unstructured Data Warehouse: Architecture, Analysis, and Design. Technics publications.

Machado, J. S. T. (2018). Business Intelligence da Atividade Operacional da Marinha Portuguesa.

Marinha Portuguesa. (2020a). Tábela de Marés 2021 (Ministério da Defesa, Vol. 1–1). Instituto Hidrográfico.

Marinha Portuguesa. (2020b, Maio 11). A Missão. Marinha. https://www.marinha.pt/pt/a-marinha/Paginas/missao.aspx

Wickens, C. D. (2002). Situation awareness and workload in aviation. Current directions in psychological science, 11(4), 128–133.

Hidrográfico+: O desenvolvimento de uma infraestrutura de dados e informação geoespacial marinha

Nunes, P. (1); Saraiva, S. (1); Almeida, S. (1); Equipa de projeto Hidrográfico+ (1,2)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1200-677 Lisboa. antunes.nunes@hidrografico.pt.

(2) Deimos Engenharia S.A.

Resumo: As infraestruturas de dados geoespaciais apresentam-se como uma solução capaz de responder aos desafios da interoperabilidade e partilha de informação numa sociedade cada vez mais digital. O subdomínio das infraestruturas de dados geoespaciais marinhos também está muito ativo para responder às necessidades das diretivas europeias, nomeadamente a diretiva INSPIRE, ao *Marine Spatial Planning* (MSP) e aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

O Instituto Hidrográfico produz informação e conhecimento a partir de dados provenientes de múltiplos sensores. Essa heterogeneidade de dados/informação é desafiante para os gestores dos dados/informação que têm de responder a uma cadeia complexa processos e à necessária interoperabilidade entre sistemas e aplicações. Todos os processos confluem para o objetivo final de apresentar informação de qualidade aos múltiplos clientes e aos possíveis usos de uma forma reutilizável.

O tópico deste artigo é o trabalho desenvolvido para implementar uma infraestrutura de dados geoespaciais marinhos através do projeto Hidrográfico+.

Palavras-chave: Geoportal Hidrográfico +, infraestruturas de dados espaciais, INSPIRE, *Marine Spatial Data Infrastructure*, , sistema de apoio à transformação digital da Administração Pública (SAMA2020).

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos temos assistido ao desenvolvimento tecnológico das infraestruturas de dados espaciais (IDE). Este esforço reflete a importância dos dados num mundo em constante mudança onde são exigidas decisões céleres e informadas.

A nível europeu foram desenvolvidas estratégias e documentos legais que reconhecem a importância dos dados para sustentar o desenvolvimento nas suas vertentes económica, ambiental e social.Destacamos a Diretiva INSPIRE (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2007), a *Open Data Directive* (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2019) e muito recentemente a *European Strategy for Data* (EUROPEAN COMMISSION, 2020a).

Entre estes salienta-se a INSPIRE e todos os documentos associados (EUROPEAN COMMISSION, 2020c). Este corpo documental de cariz legal e técnico descreve os procedimentos e requisitos técnicos na base do desenvolvimento de uma infraestrutura de dados europeia com o fim de ter uma organização federada, coerente e homogénea da informação usada na gestão do espaço europeu.

É importante referir ainda que a *European Strategy for data (*EUROPEAN COMMISSION, 2020b*)* onde aparece elencado um conjunto de áreas que devem ser objeto de ações com o fim de colocar a Europa no centro de uma economia global dos dados. A estratégia e os planos de ação a desenvolver serão fundamentais para responder aos desafios colocados pela rápida evolução das tecnologias de recolha e tratamento de dados e à aceleração na quantidade de dados recolhidos.

No próximo ano inicia-se a *the United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development* (2021-2030) (UNESCO, 2020), iniciativa global que colocará o enfoque no reconhecimento da importância do Oceano, dos serviços que este proporciona e na economia azul.

A evolução operada no mundo tem demonstrado que as infraestruturas de dados são recursos fundacionais em muitas organizações modernas. Altamente dependentes de dados como matéria prima dos seus processos de negócios, dos seus produtos e serviços. Paralelamente a esta realidade assiste-se à integração da quarta dimensão – o tempo. Os modelos, cada vez mais inteligentes tornam a Humanidade mais previdente e capaz de antecipar fenómenos.

Toda a informação tem um ciclo de vida e existem momentos ótimos (de elevado valor) para esse recurso ser consumido nos processos, muitas vezes esse momento de valorização máxima é de curta ou muito curta duração. Este constrangimento impulsiona sistemas de partilha automatizada de dados que garantam o acesso no momento ótimo.

O Instituto Hidrográfico (IH) reconhecendo a evolução do conceito de Infraestrutura de dados espaciais (IDE) e a necessidade de tomar ações para acompanhar o contexto externo, está a desenvolver

um projeto - Hidrográfico +, financiado pelo programa SAMA 2020, destinado à modernização da Infraestrutura de Dados do Ambiente Marinho (IDAMAR).

O presente artigo tem como objetivo apresentar os desenvolvimentos conseguidos até ao momento e os serviços e funcionalidades que estão operacionais no presente. O manuscrito encontra-se organizado em cinco secções, a primeira aborda a importância dos dados marinhos, a segunda apresenta os processos e organização da gestão de informação no IH, a terceira descreve a infraestrutura de dados e informação geoespacial marinha – Hidrográfico +, a quarta apresenta os resultados obtidos, e a última as conclusões.

2. A IMPORTÂNCIA DOS DADOS MARINHOS

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) dedicou, em 2019, o dia internacional da hidrografia ao lema: *Hydrographic information driving marine knowledge*. Em 2021 iniciar-se-á a década *the United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development* (2021-2030). A *open data directive* considera dados geoespaciais como *High Value Datasets*: dados com potencial para a geração de elevado retorno económico. A Europa está ativamente a desenvolver uma *European Strategy for data* e tem lançado inúmeras iniciativas relacionadas com o *Maritime Spatial Planning*. Pelo reconhecimento colectivo da importância deste recurso este trabalho assume o dogma do valor intrínseco dos dados marinhos.

As atividades de recolha de dados geoespaciais são geralmente muito dispendiosas. No caso das observações *in-situ* no Oceano, desenvolvidas com recurso a navios e a equipamentos pesados ou tecnologicamente avançados, o custo de recolha de dados agrava-se. O Oceano continua a ser uma fronteira do conhecimento pela sua natureza remota e inatingível em algumas zonas. O mapeamento das suas características geofísicas e o estudo científico dos seus fenómenos são atividades dispendiosas e os resultados irrepetíveis, por isso, todos os dados marinhos são fundamentais para um entendimento mais geral do Oceano e do seu papel no equilíbrio do sistema Terra.

O IH na configuração atual desde 1960, cumpre em 2020 sessenta anos de existência com muita atividade de recolha de dados no espaço marítimo nacional. Os dados residentes no IH representam matéria prima importante para os organismos de investigação nacional e um recurso capaz de gerar um potencial económico para o setor privado.

Consciente da importância deste recurso, o IH tem como objetivo tornar a metainformação e os dados acessíveis e partilháveis, nas condições reguladas por uma Política de Dados, alinhada com os modelos de licenciamento, que garanta a sustentabilidade da infraestrutura. O IH acredita que desta forma permitirá uma visão holística sobre os dados existentes nos repositórios, as campanhas científicas passadas e em curso, assim como, sobre os dados recolhidos do decurso das mesmas.

A informação geoespacial marinha suporta vários usos e atividades do espaço marítimo, ao nível nacional, regional e global (Figura 1)

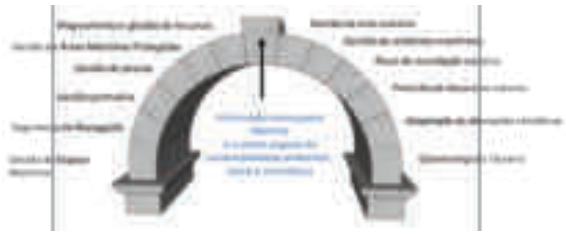


Fig. 1 – Informação geoespacial marinha e os usos e atividades antropogénicas no Oceano (adaptado de Harper (2016))

A Figura 1 apresenta esquematicamente a visão de que a Informação Geoespacial Marinha realiza o suporte, enquanto pedra angular, duma estrutura complexa que contempla as diversas atividades do espaço marinho.

3. GESTÃO DE INFORMAÇÃO GEOESPACIAL MARINHA NO IH

A gestão de informação é uma atividade organizacional que tem por objetivo administrar o recurso informação em prole da sua missão, por forma a maximizar o seu impacto gerador de valor.

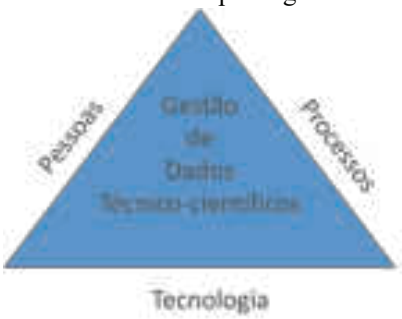


Fig. 2 – Modelo esquemático da atividade de Gestão de dados e informação técnico-científica (de natureza geoespacial)

Num modelo simplificado, esta atividade pode ser vista esquematicamente como um triângulo onde se pretende atuar e combinar os seus vértices: recursos humanos, processos orientados para a ação e as tecnologias de suporte (Figura 2). Estas componentes, quando combinadas permitem que o recurso informação esteja disponível com qualidade e em tempo útil aos decisores e processos de negócio que beneficiam da mesma.

A gestão de dados técnico-científicos no IH é considerada numa perspetiva mais complexa seguindo o conceito de capacidade militar no enquadramento da doutrina NATO com as componentes apresentadas na Figura 3.

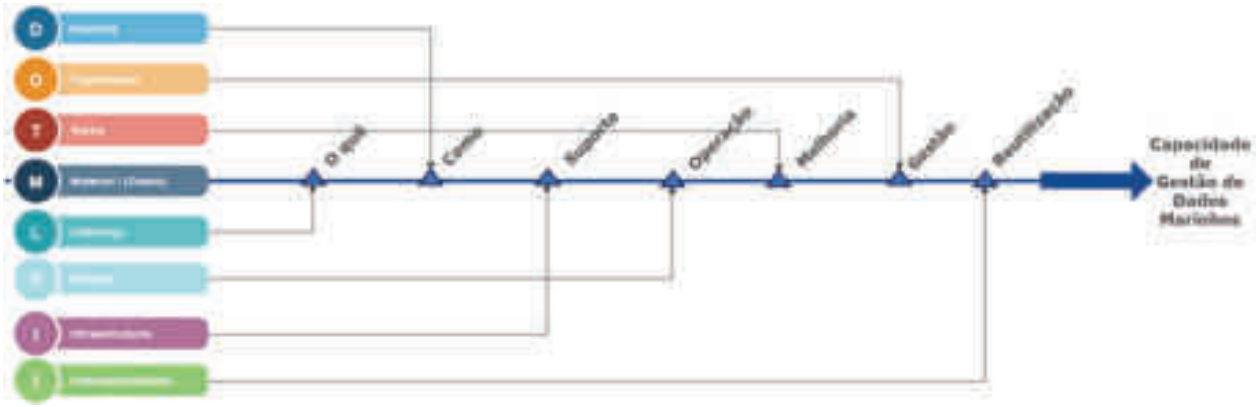


Fig. 3 – A Gestão de informação numa perspetiva de capacidade

No o âmbito da doutrina interna é estabelecido um conjunto de referenciais, de que se destaca a Política de Dados do Instituto Hidrográfico.

O treino é entendido como formação/educação. O IH possui no mapa de pessoal, elementos com uma formação base na área das ciências da terra e especialistas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A especialidade em SIG permite-lhes dominar competências técnicas e operar ferramentas para explorar a infraestrutura de dados geoespaciais.

O treino/formação inclui a permanente atualização de conhecimentos relacionados com a gestão de dados através da participação em cursos, conferências e *workshops*. Numa visão transversal, o treino também é considerado através do desenvolvimento de requisitos de competências técnicas para os gestores de dados e o desenvolvimento de planos de formação e capacitação, com formadores do quadro do IH e entidades externas, orientada a domínios específicos: SIG, Sistemas de bases de dados relacionais e ou espaciais, ferramentas de apoio à gestão de dados, etc.

A liderança da gestão dos dados técnico-científicos é assumida pelo Diretor Técnico do IH.

O material é enquadrado na capacidade de gestão de dados técnico-científicos através dos recursos de hardware e software de suporte à atividade e interação com os dados.

A Marine Spatial Data Infrastructure (MSDI) está a ser desenvolvida no âmbito do projeto de edificação da Infraestrutura de dados e informação geoespacial marinha – Hidrográfico +.

A interoperabilidade com outros sistemas é assegurada através da adoção dos princípios *Findable, Accessible, Interoperable and Reusable* (FAIR), na implementação de standards internacionais associados às infraestruturas de dados geoespaciais presentes nas diretivas europeias PSI (*Public Sector Information Directive*) e INSPIRE, no Regulamento Nacional de Interoperabilidade Digital.

4. A *Marine Spatial Data Infrastructure* – HIDROGRÁFICO+

Como indicado na secção anterior a MSDI será a componente de infraestrutura que dará suporte aos processos internos de gestão de dados e informação geoespacial de natureza técnico-científica do IH.

Há vários anos que o IH definiu internamente a necessidade estratégica de possuir uma IDE de nível organizacional - a Infraestrutura de Dados do Ambiente Marinho (IDAMAR).

Esta IDE resultou da necessidade de oferecer aos colaboradores internos, das várias áreas de investigação das Ciências do Mar, uma única infraestrutura de trabalho que respondesse às necessidades informacionais associadas às competências e atribuições do IH, enquanto organismo da Marinha e dada a sua natureza de Laboratório de Estado.

O desenvolvimento aplicacional da Infraestrutura de dados geoespaciais marinhos – Hidrográfico+ - começou em 12 de dezembro de 2019.



Fig. 4 – Arquitetura e tecnologias da MSDI - Hidrográfico +

A infraestrutura foi projetada e está a ser desenvolvida para ser o único ponto de acesso a todos os dados do Instituto Hidrográfico fornecendo um conjunto de serviços e funcionalidades aos utilizadores internos e externos que aparecem identificados na Figura 4.

Numa perspetiva de arquitetura de sistemas (Figura 5), a infraestrutura Hidrográfico + é constituída por um conjunto de servidores que prestam serviços e dão suporte às funcionalidades.

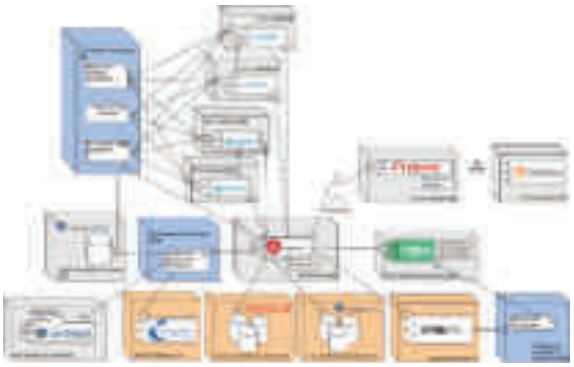


Fig. 5 – Arquitetura e tecnologias da MSDI - Hidrográfico +

A componente de acesso a dados é feita através de serviços de pesquisa, visualização e descarregamento de dados seguindo as normas (*Open Geospatial Consortium*) OGC. A implementação está baseada em servidores *open source Geoserver* (Servidor dedicado à publicação de serviços geoespaciais), *Geonetwork* (Servidor que implementa o catálogo de metainformação) e ncWMS (servidor que permite a publicação de dados multidimensionais no formato NetCDF).

Os serviços expõem aos utilizadores dados de natureza estática (cartas náuticas, batimetria, etc), dados dinâmicos, atualizados em quase real tempo (de boias, marés, etc.), dados de séries temporais suportando a dimensão tempo (observações e previsões).

O Hidrográfico+ irá também apresentar dados da atividade científica do IH, como sendo as campanhas científicas, e serviços de suporte ao planeamento da navegação.

A versão de produção do portal do Hidrográfico + está disponível para consulta no endereço https://geomar.hidrografico.pt (ativo desde 01 de agosto de 2020). De momento, o portal encontra-se em fase de protótipo operacional sujeito a melhorias contínuas de funcionalidades e dados.

A Figura 6 apresenta alguns dos conjuntos de dados geográficos e coleções de dados que já se encontram disponíveis para acesso no portal da infraestrutura.



Fig. 6 – Arquitetura e tecnologias da MSDI - Hidrográfico +

5. CONCLUSÃO

A partilha de informação geográfica permite desenvolver novos modelos de negócio que correspondem a uma cadeia de valor.

A transformação digital gera novas forças evolutivas que obrigam as organizações a adaptarem-se.

A Europa está ciente da economia emergente dos dados e a comunidade internacional reconhece com a Década dos Oceanos, a importância da necessidade de termos um maior conhecimento sobre o estado dos Oceanos e a sustentabilidade deste ambiente que presta inúmeros serviços no contexto do sistema Terra.

O IH, enquanto Laboratório de Estado de referência na área das ciências do mar, está ciente da evolução do contexto e da importância dos dados e da informação que mantém nos seus repositórios enquanto ativo nacional e internacional.

O IH está ativamente empenhado na valorização deste seu recurso, através de uma constante reavaliação dos processos internos e de um alinhamento dos mesmos com as melhores práticas internacionais.

O projeto de edificação do Hidrográfico + é uma iniciativa de investimento na modernização, realizada com o apoio dos fundos comunitários, que permitirá integrar os requisitos atuais dos parceiros e dos utilizadores da informação do Mar Português.

Agradecimentos

O projeto "Hidrográfico +" é apoiado pelo FEDER - POCI-02-0550-FEDER-035422**.**

REFERÊNCIAS

EUROPEAN COMMISSION. (2020a). "European data strategy, Making the EU a role model for a society empowered by data." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-data-strategy.

EUROPEAN COMMISSION (2020b). A European strategy for data. **COM/2020/66 final**.

EUROPEAN COMMISSION. (2020c). "INSPIRE - Insfrastructure for Spatial Information in Europe Knowledge Base,." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://inspire.ec.europa.eu/.

Harper, S. (2016). UKHO International Hydrographic Development Projects.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2007). Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). **DIRECTIVE 2007/2/EC**.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2019). Open data and the re-use of public sector information. **DIRECTIVE (EU) 2019/1024**.

UNESCO. (2020). "United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://en.unesco.org/ocean-decade.

A importância da metainformação na re(utilização) dos dados da cartografia sedimentar

Melo, R. (1); Rodrigues, A. (1); Saramago, A. (1); Luz, C. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa. anaraquel.melo@hidrográfico.pt

Resumo: No decurso dos 60 anos de existência do IH, foram colhidas, analisadas, classificadas e projetadas mais de 20 000 amostras de sedimentos da plataforma continental portuguesa. Apesar da diversidade dos espaços temporais e espaciais, métodos de colheita e análise laboratorial, a informação inerente às amostras de sedimentos é de um interesse estratégico incalculável, permitindo atualizações cartográficas diversas e o conhecimento da evolução temporal do ambiente marinho. Dado o número de variáveis e o volume da informação associada a uma simples amostra de sedimento, os metadados revestem-se de caráter obrigatório, definindo-se ao nível da campanha e da amostra sedimentar. Com o intuito de testar a veracidade do conjunto de dados geográficos utilizado no Programa SEPLAT, com a atual realidade do Programa SEDMAR, os metadados serão os atores principais na seleção espacial de amostras, tendo como objetivo final a projeção e a representação cartográfica dos parâmetros analisados em laboratório.

Palavras-chave: cartografia sedimentar, gestão da informação, metadados, SEDMAR, SEPLAT.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Com implicações nas atividades militares promovidas pela Marinha, a necessidade de conhecer as caraterísticas dos fundos marinhos das zonas costeiras no mar português, levou à conceção, em 1974, do programa "*SEdimentos superficiais da PLATaforma continental portuguesa*" (SEPLAT), financiado pelo Ministério da Defesa Nacional e inteiramente desenvolvido no Instituto Hidrográfico (IH).

A metodologia utilizada no Programa SEPLAT baseou-se na colheita, análise e classificação de mais de 12 000 amostras de sedimentos superficiais, distribuídas regularmente, segundo um intervalo de 1 milha, entre a linha de costa e os 500m de profundidade. Os resultados deste projeto, executado na Divisão de Geologia Marinha (GM), consistiram na publicação de 7 cartas sedimentológicas (escala 1:150 000) cobrindo a plataforma continental entre o rio Minho e o rio Guadiana (SED1, SED2, SED3, SED4, SED5, SED6, SED7-8). Apesar das cartas apenas se referirem às caraterísticas granulométricas e ao teor em carbonato de cálcio ($CaCO_3$) das amostras estudadas, os sedimentos remanescentes foram preservados para eventual reanálise, ou aplicação de outras técnicas analíticas, de acordo com os objetivos que foram surgindo ao longo dos tempos. Em face do interesse na utilização do espólio sedimentológico que o IH tem vindo a acumular ao longo de 60 anos, surge a necessidade de mostrar a importância da metainformação no processo de seleção de dados preexistentes para sua utilização na atualização da cartografia sedimentar, no âmbito do recentemente iniciado programa multidisciplinar SEDMAR ("*Mapeamento dos SEDimentos MARinhos da margem portuguesa*") ou de outros projetos de I&D. Neste trabalho será focada a área da Folha SED5 (entre o cabo da Roca e o cabo de Sines), mais concretamente na área adjacente aos rios Tejo e Sado, por ser aquela que, potencialmente, é mais atrativa para testar a metodologia de trabalho que está a ser criada. De facto, este setor é aquele que apresenta maior diversidade de campanhas realizadas ao longo dos tempos (cada uma com os seus objetivos específicos) e é, ainda, dada a proximidade a dois estuários importantes, aquele onde se esperam encontrar diferenças significativas em termos de variações nos sedimentos de fundo (as quais ficarão expressas nos resultados das análises).

2. ESTADO DE ARTE

O IH, no âmbito do programa SEPLAT, realizou inúmeras campanhas de amostragem sedimentar, onde foram colhidas, e processadas em laboratório, aproximadamente 12 000 amostras de sedimentos superficiais, tendo sido gerados grandes volumes de informação. Este princípio proporciona ao IH ser detentor de um enorme volume de informação (Melo *et al.*, 2016) que requer algum cuidado no seu tratamento, armazenamento e eventual reutilização. Os dados de bordo e os registos laboratoriais, foram inseridos no Sistema de Gestão *Nautilus*, tendo em vista a sua salvaguarda, encontrando-se a informação dispersa por diversas formas e formatos (Saramago Santos *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2016). Para além da capacidade de armazenamento da informação, o *Nautilus* tem a facilidade de, desenvolvendo aplicações específicas, permitir a extração da informação e o seu (re)uso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), dando origem às mais diversas representações cartográficas. Para uma gestão dos dados eficiente é necessário ter conhecimento, controlo, visão e uma boa organização sobre o planeamento dos dados, tendo como ponto de partida o ciclo de vida dos dados (Figura 1).

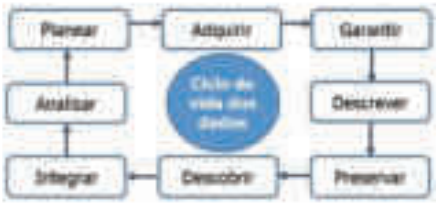


Fig. 1. *Ciclo de vida dos dados (*adaptado de DataONE, 2020).

De acordo com DataONE (2020), o ciclo de vida dos dados contempla uma visão ampliada dos estádios essenciais na gestão e preservação dos dados para uso e reutilização. É um processo que está todo encadeado e que começa por planear, adquirir, garantir, descrever, preservar, descobrir, integrar e analisar. Este ciclo pode ser projetado e adaptado às etapas previstas nos projetos em curso na GM, incluindo os programas de cartografia SEPLAT e SEDMAR, com as suas inúmeras campanhas de amostragem sedimentar. Segundo as definições de DataONE (2020) para as fases referidas, aquela que está diretamente ligada aos metadados da amostra, é a fase "Descrever", considerando que os parâmetros necessários para a sua representação cartográfica robusta devem estar totalmente identificados, validados e harmonizados. Não menos importante, os metadados devem garantir que os dados se encontram devidamente localizáveis, acessíveis, e serem ainda interoperáveis e reutilizáveis, conforme os princípios FAIR (*Findable, Acessible, Interoperable, Reusable*; Wilkinson *et al.*, 2016).

3. METADADOS

Atualmente, considerando que vivemos numa Era Digital, a informação gera um valor estratégico gradativo para a sociedade em geral, considerando o crescimento acelerado das infraestruturas de dados espaciais. No âmbito da gestão da informação geológica, adquirida pela GM, no âmbito das suas atribuições, têm vindo a ser desenvolvidos *templates* de metadados para os vários tipos de amostras, sedimentos de fundo (superficiais e verticais) sedimentos em suspensão, colhidos em diferentes cotas da coluna de água. Neste processo está a ser seguida a mesma linha de raciocínio da informação inserida no ICES e BODC, por forma a harmonizar a informação sobre o ambiente marinho.

No que diz respeito às amostras de sedimentos superficiais, foram definidos os campos que melhor identificam os seus descritores espaciais e temporais, equipamentos, parâmetros de análise, identificação interna e externa da amostra, projeto e eventuais restrições. Estes campos são denominados por metadados e serão como que o bilhete de identidade de uma amostra, permitindo distingui-las unicamente em qualquer plataforma atual ou futura (Figura 2). Deste modo, todas as amostras de sedimentos, colhidas e processadas no IH, que estão inseridas no *Nautilus* foram sujeitas a um tratamento de dados e uma validação da informação, ficando o processo finalizado com a permissão para disponibilização dos resultados no sistema de gestão (ação vulgarmente denominada "autorização da amostra").



Fig. 2. *Fluxo da informação na criação dos Metadados das amostras de sedimentos superficiais.e a sua importância para utilização posterior*.

3.1. Verificação e validação geoespacial das amostras SEPLAT

A recuperação da informação histórica constituiu um processo moroso, ainda em curso, dado o volume e a diversidade de formatos em que a informação analógica se encontra e os poucos recursos alocados na tarefa. No processo têm sido detetados alguns problemas relacionados com a evolução natural dos métodos de posicionamento e nas técnicas analíticas, incongruências e falhas da informação que, atualmente, é considerada como essencial para os metadados e descrição dos dados. O procedimento de avaliação inicia-se com a verificação das coordenadas das amostras e identificação de possíveis *outliers*, realizada com a aplicação *ArcGIS 10.5.1*. Posteriormente, a partir das ferramentas de análise espacial afere-se a concordância da classificação SEPLAT (Figura 3) aplicada às amostras inseridas no sistema *Nautilus*, com a cartografia sedimentar, conjunto de dados geográfico – Carta SEPLAT.



Fig. 3. Esquema classificativo utilizado nas Cartas SEPLAT, que considera os resultados das granulometrias e o teor em $CaCO_3$.

Neste processo de validação foram identificadas e anotadas inúmeras diferenças, causadas por: 1) critérios subjetivos no desenho das manchas dos depósitos sedimentares, realizado manualmente sem uniformização de conceitos ou limites; 2) evolução natural dos sistemas de posicionamento e dos equipamentos laboratoriais, que, não obstante os protocolos definidos, induzem a erros de precisão no rigor no posicionamento das amostras e nos

resultados das análises apresentados; 3) erros na classificação inicial (realizada de forma não-automática); 4) erros na transcrição manual dos dados, durante o processo de recuperação da informação histórica. Neste processo, constatou-se, por um lado, a existência de amostras que são divergentes da cartografia (Figura 4a) e, por outro, casos em que a classificação SEPLAT estava incompleta ou era ambígua, por ser realizada apenas com base num dos critérios (normalmente granulométricos; Figuras 3 e 4b).



Fig. 4. Comparação entre as classificações *Nautilus* e as extraídas da cartografia sedimentar e que podem resultar em: a) Discordância ou b) Classificação ambígua.

O procedimento adotado para estes dois casos foi o de não validar os metadados referentes a estas amostras até serem alvo de uma auditoria mais cuidada, que inclua o procedimento laboratorial ou o cartográfico.

3.2. Verificação e validação da informação inserida no Nautilus

Esta fase é considerada uma das mais importantes de uma base de dados porque tem em vista a consolidação de dados adquiridos de várias fontes num só repositório. A limpeza dos dados é essencial e tem, como função, lidar com dados incoerentes, com erros, duplicados, operando como fio condutor para o preenchimento dos espaços em branco e eliminação dos duplicados (Ferreira, 2015). Na GM, este processo foi realizado na plataforma *Microsoft Excel®*, usando a aplicação de filtros e ferramentas de formatação condicional. Os filtros tiveram um desempenho fundamental na exploração dos registos vazios, sem dados, proporcionando a extração das amostras, nestas condições, de uma forma direta e célere, contribuindo significativamente para o adequado controlo das amostras, evitando perda de informação. Nesta fase, constatou-se que, os campos com mais registos vazios são a "Hora", o "Equipamento" e a "Profundidade" (Figura 2).

As ferramentas de formatação condicional tiveram ainda relevância na obtenção dos casos duplicados, detetada a partir da combinação dos campos DATA/HORA, DATA/HORA/ID_EXTERNA e NUM_ACESSO/ID_EXTERNA. Para facilitar a harmonização da informação a inserir no *Nautilus*, foi criado, para o campo "Equipamento", um domínio com o nome de todos os colhedores conhecidos. Em relação ao campo "ID_Externa" houve a necessidade de corrigir algumas designações, pelo facto das mesmas não estarem devidamente uniformizadas e terem sido criadas por vários utilizadores. Por último, para o campo "Parâmetros de análise" as frases passaram por uma fase de verificação com o cruzamento das alíquotas, sendo a validação efetuada com a existência de resultados. À semelhança da decisão tomada no ponto 3.1. no final da verificação e validação, as amostras com campos dos metadados incompletos, não foram autorizadas, ficando a aguardar verificação posterior.

Considerando as áreas de interesse da SED5, às amostras do programa SEPLAT foram adicionadas amostras colhidas posteriormente a 2010, no âmbito de outros projetos científicos, prestações de serviço e outros levantamentos. Terminado o processo de validação de todos os dados disponíveis no sistema *Nautilus* estão criadas as condições para a cedência dos dados a outros utilizadores, para utilização e processamento de acordo com os seus interesses. Esta tarefa deve, no entanto, ser supervisionada pelo gestor da informação geológica, que, para além da deteção de quaisquer irregularidades no processo, pode, inclusivamente, fornecer informação adicional, sobre quaisquer dos parâmetros consultados ou classificar os dados de acordo com cada esquema de classificação.

Para a revisão da cartografia sedimentar, os metadados são de extrema importância, por serem os atores primários na seleção de qualquer conjunto de resultados (dados) obtidos no laboratório de Sedimentologia, com interesse no mapeamento ou na representação cartográfica dos sedimentos marinhos.

3.3. Cedência de Dados

A forma como os dados validados irão ser disponibilizados dará origem a um procedimento interno, ainda em fase de testes, que contempla, pelo menos, duas etapas distintas, a primeira das quais baseada apenas na análise dos metadados existentes numa determinada área geográfica. À questão sobre se existem dados disponíveis, serão disponibilizados os metadados das amostras (autorizadas) que cobrem a área pesquisada (Figura 6 e Figura 7).

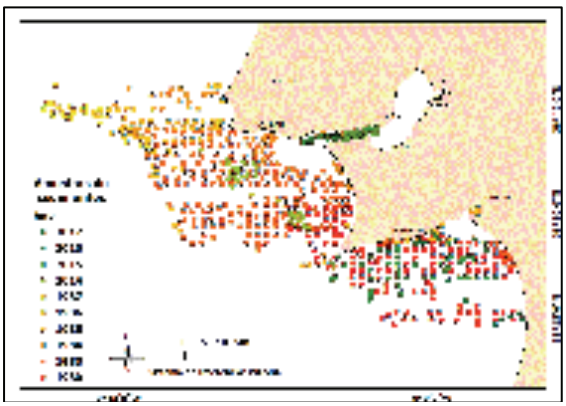


Fig. 6. *Metadados das amostras de sedimentos superficiais na zona adjacente aos rios Tejo e Sado, codificados de acordo com os anos de colheita das amostras*.

Para agilizar a visualização da distribuição espacial das amostras, foi criada uma legenda para codificar os diferentes anos de amostragem (Figura 6).

Após a análise efetuada aos metadados constantes na tabela de atributos (Figura 7), devidamente organizada e consistente, o requerente selecionará apenas os dados com interesse para os objetivos da consulta e finalizará o pedido de acesso aos dados de sedimentologia.

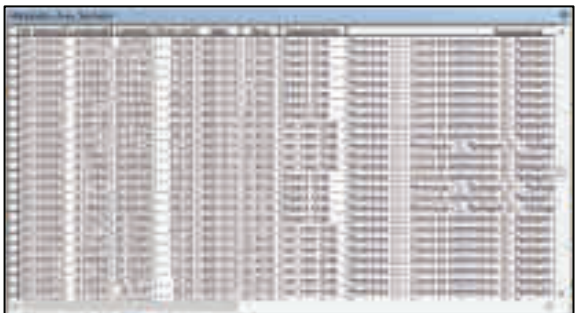


Fig. 7. Excerto dos metadados das amostras de sedimentos, representadas na Figura 6.

Com este processo faseado, e com as funcionalidades e aplicações permitidas pelo *Nautilus*, os utilizadores terão acesso apenas ao conjunto de dados (resultados de análises, classificações e respetivos metadados) com interesse para os objetivos definidos, não sendo "inundados" com dados desnecessários, incompletos ou incoerentes. Não obstante o desejável acompanhamento e supervisão do responsável pela informação sedimentológica, a primeira fase do procedimento de acesso e disponibilização de dados sobre os sedimentos pode ser realizada automaticamente, a partir de um portal de metainformação, tal como o Hidrográfico + que está em desenvolvimento no IH (Nunes *et al.*, 2018).

A 2ª fase do processo, no entanto, por obrigar a uma análise crítica dos objetivos do uso dos dados e a subsequente verificação e validação técnica do conjunto de dados disponibilizados, que pode inclusivamente incluir classificação sedimentológica, terá de ser assegurada por um técnico com formação na área.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A boa gestão dos dados sedimentológicos requer uma informação robusta, criada e validada de forma coerente e consistente, independentemente dos objetivos dos projetos e dos estudos que enquadraram a sua aquisição. Neste contexto, os metadados permitem conhecer e acompanhar o ciclo de vida dos dados, projetando a sua (re)utilização por parte de outros utilizadores ou entidades. A disponibilização de (meta)dados (seja através de um geoportal ou a pedido) deve ser precedida pela cuidada verificação e validação, devendo ser descartados todos os dados que não tenham a metainformação consistente, verificada e validada. O ponto forte do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na GM é a possibilidade da (re)utilização de informação e da correta gestão de recursos no sentido em que suprime o esforço dos utilizadores em sucessivas compilações, verificações e correções dos dados (Melo *et al.*, 2018).

Na descrição e cedência dos dados, é imprescindível a utilização dos metadados, especialmente no caso dos sedimentos marinhos, que podem ser utilizados de múltiplas formas e constituir importante fonte de receitas, com potencialidade para gerar retorno financeiro e reconhecimento institucional. Assim sendo, pode-se considerar que a sua gestão eficaz tem um valor estratégico incalculável para o IH.

Agradecimentos

As autoras agradecem a todos os colegas e Chefes de Missão que, na falta de relatórios de bordo, permitiram recuperar a informação necessária para preencher "os campos vazios" nos metadados das campanhas.

REFERÊNCIAS

DATAONE. Data Life Cycle. Disponível em: https://old.dataone.org/data-life-cycle; Acesso em: 05 agosto 2020.

Ferreira, A. (2015) "Introdução aos Data Warehouses", Apontamentos da disciplina de Integração e Processamento Analítico de Informação, Texto não publicado. Univ. Lisboa.

Melo, R., Santos, R., Rodrigues, A. (2016) "Recuperação dos registos de reflexão sísmica - modo analógico para o digital com a máquina fotográfica." *Actas 4as Jornadas de Engenharia Hidrográfica,* Lisboa pp. 385-388.

Melo, R., Santos, R., Rodrigues, A., Catalão J. (2018) "Desenvolvimento de um portal em ambiente marinho" *Actas 5as Jornadas de Engenharia Hidrográfica,* Lisboa pp. 432-435.

Nunes, P., Correia, A., Cruz, I., Godinho, S. (2018) "Hidrográfico+: O processo de evolução da infraestrutura de dados espaciais marinhos do Instituto Hidrográfico" *Actas 5as Jornadas de Engenharia Hidrográfica,* Lisboa pp. 420-423.

Saramago Santos, A., Lopes, A., Luz, C., Batista, R., Rodrigues, A. (2012) "Nautilus – Prestações para o conhecimento do ambiente sedimentar da Plataforma Continental" *Actas 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica,* Lisboa pp. 333-336.

Wilkinson, M. D. *et al.* The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci. Data 3:160018 doi: 10.1038/sdata.2016.18 (2016).

Estatísticas de direção e intensidade do vento nas áreas oceânicas de responsabilidade nacional com base no ERA5 dataset

Nunes, P. (1); Nobre, A. (1); Teles, J. (1); Almeida, S. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49,1200-677 Lisboa. antunes.nunes@hidrografico.pt

Resumo: O espaço marítimo de interesse e responsabilidade nacional corresponde a uma área de oceano cerca de 40 vezes superior à área emersa de Portugal Continental. Este extenso espaço não tem sensores de observação meteorológica instalados in-situ que permitam observar séries temporais longas e calcular variáveis estatísticas. Os centros e instituições responsáveis pela previsão meteorológica, como o *European Center for Medium Weather Forecast*, produzem datasets que assimilam dados históricos de observação em conjunto com os resultados de modelação, o ERA5 dataset é um desses produtos. A informação estatística das variáveis meteorológicas é muito relevante para o planeamento da navegação e faz parte da informação de segurança marítima. O *Atlas of Pilot Charts* publicado pela *National Geospatial-Intelligence Agency* é um exemplo desses produtos. Este artigo apresenta uma abordagem possível para criar *Pilot Charts* para a área marítima de responsabilidade nacional, com recurso a sistemas de informação geográfica e ao ERA5 dataset.

Palavras-chave: climatologia, ECMWF ERA 5, geoestatística, pilot charts, sistemas de informação geográfica.

1. INTRODUÇÃO

As condições ambientais influenciam o comportamento e manobra dos navios no mar. Conscientes desta condicionante, os pilotos preocuparam-se desde sempre em mapear a direção e intensidade dos ventos e das correntes, considerando esse conhecimento como fator determinante no planeamento das viagens marítimas.

A informação climatológica recolhida ao longo dos anos deu origem a cartas especiais, de natureza temática, usadas para planeamento de viagens oceânicas: as cartas de roteamento (e.g. as *Admiralty Routing Charts*, produzidas pelo Almirantado Inglês, e o *Atlas of Pilot Charts*, da *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA, 2020)).*

Os modelos e grafismo destas cartas divergem em pequenos pormenores, no entanto, apresentam-se normalmente estruturadas por áreas geográficas, com as condições climatológicas organizadas numa distribuição mensal. Os valores estatísticos das direções e intensidades são vulgarmente adicionados à carta numa representação gráfica e simples, sendo frequente encontrar gráficos polares com setores circulares limitados com diferentes raios e ângulos.

Nas cartas de roteamento são ainda representados outros elementos gráficos nomeadamente as linhas ortodrómias, distâncias entre os principais portos, linhas limite de ocorrência de gelo, isolinhas com a declinação magnética e a sua variação secular, etc..

O modelo de reanálise ERA5 (ECMWF, 2020a), mantido pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) resulta de um esforço mundial para combinar dados de modelação, as melhores estimações das condições meteorológicas, com dados de observação (*in-situ* e de deteção remota). O modelo apresenta um conjunto de variáveis com uma cobertura global da superfície da terra, completa e coerente (ECMWF, 2020b). Para o presente estudo foi utilizado – *ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present* (ECMWF, 2020a).

O artigo apresenta a metodologia utilizada para extrair a informação estatística sobre a direção e intensidade do vento nas zonas oceânicas de interesse nacional. Considerou-se genericamente os limites geográficos das áreas *Search and Rescue* de responsabilidade nacional e limites da proposta de extensão da plataforma continental). Os resultados servirão para criar Cartas de Roteamento, com dados climatológicos atualizados [1979-2019], com informação gráfica orientada às tarefas de planeamento dos navegadores e outros usos e atividades que requeiram o conhecimento das condições de vento prevalecente.

2. METODOLOGIA

A metodologia descrita de seguida apresenta o processo utilizado para criar os gráficos polares – rosa dos ventos – com os ventos prevalecentes em células com 5ºx5º. Os dados: direção e intensidade do vento usados no trabalho foram calculados a partir do *dataset ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present*.

Este conjunto corresponde à reanálise organizada na forma de uma grelha regular com uma cobertura global. Cada célula do modelo apresenta uma dimensão de 0,25ºx0,25º, com um domínio vertical da pressão correspondente a 37 níveis distribuídos dos 1000 hPa até o 1 hPa. O domínio temporal é de 1979

até ao presente com passos temporais de uma hora (ECMWF, 2020a). Tendo em conta o objetivo do trabalho: foi criado um sub-conjunto do modelo extraindo as componentes u e v para a área geográfica pretendida.

A metodologia utilizada no cálculo da direção e intensidade do vento encontra-se resumida na Figura 1.

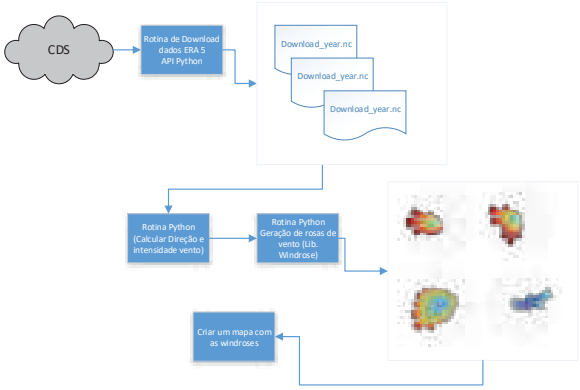


Fig. 1. Processo de geração dos gráficos com as estatísticas de direção e intensidade do vento – modelo ERA5

Os dados foram obtidos no formato NetCDF a partir do *Climate Data Store* (CDS) usando a *Application Program Interface* (API) *Python* desenvolvida para a interação com o CDS (ECMWF, 2020b).

Através da API foram recolhidos os dados correspondentes às seguintes variáveis: a) componente u (Componente vetorial na direção Oeste-Leste); b) componente v (Componente vetorial na direção Sul-Norte); c) temperatura para o nível de pressão de 1000 hPa. A recolha dos dados do CDS foi feita considerando uma área geográfica de interesse (Lat. Norte: 50º N, Long. Oeste: 45º W, Lat. Sul: 15º N, Long. Leste: 0º).

Foi escolhido este nível standard dos 1000 hPa que corresponde à altitude aproximada de 111 metros (NASA, 1976).

Os dados com a série temporal no período de 1979 a 2019 correspondem a um ficheiro NetCDF de grande dimensão e o seu processamento obrigaria a ter um computador com muita memória RAM disponível. Por essa razão optou-se organizar a série temporal original em ficheiros anuais e processar sequencialmente os ficheiros anuais (com uma dimensão aproximada de 1.3 Gb).

O programa Python desenvolvido para o efeito permitiu calcular programaticamente as direções e intensidades através das componentes u e v (ECMWF, 2020b). Desta forma obtiveram-se a direção e intensidade horária para todos os meses de janeiro, de todos anos [1979 a 2019], numa grelha de 5ºx5º. Como resultado final obtem-se uma rosa a cada 5º de distribuição em Latitude e Longitude.

Tendo em conta que o nível de pressão dos 1000 hPa está situado na camada de mistura sobre o oceano consideraram-se os seguintes pressupostos e\ou simplificações:

1. A direção calculada a 1000 hPa é a mesma que a 10 metros;
2. A intensidade do vento varia em função da altitude;

A redução da intensidade do vento para a altitude de 10 metros, considerando que estamos numa situação da camada de mistura, foi feita através da equação logaritmica da variação da velocidade do vento em altitude (Manwell et al., 2009) (Equação 1):

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \frac{ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad Eq.\ 1$$

O resultado do cálculo é apresentado ao utilizador sobre a forma de gráficos polares organizados em setores de 22,5º. Na visualização dos dados é considerada a direção de onde sopra o vento. O programa calcula os valores de intensidade e direção para um respetivo mês de todos os anos.

Os elementos gráficos foram criados através da biblioteca *Python Windrose* (Roubeyriee Celles, 2018).

Os elementos gráficos resultantes do cálculo foram guardados no formato vetorial *Scalable Vector Graphics* (SVG) que permite obter imagens escaláveis de elevada qualidade e resolução.

Por fim os elementos gráficos foram organizados e adicionados a um mapa com a área geográfica do estudo fazendo uso do Sistema de Informação Geográfica – ArcMap 10.5. O ArcMap não oferece suporte para SVG, para que fosse possível implantar os elementos gráficos no mapa os mesmos foram convertidos no formato *Enhanced Windows Metafile* (EMF). A conversão de WFS para EMF foi feita através da programação Python que permite ativar comandos através da aplicação *Inkscape Command Shell*.

3. RESULTADOS

Através do processo descrito foram calculadas 63 rosas de vento (Figura 2) que resumem os dados estatísticos (percentagens de ocorrências de direções e intensidades de vento). As rosas foram construídas considerando a direção de onde sopra o vento.

O resultado gráfico do processamento, para os meses de janeiro [1979-2019], numa área de 5ºx5º centrada na posição – Latitude: 47,5º N e Longitude: -42,5º W é apresentado na figura 2.

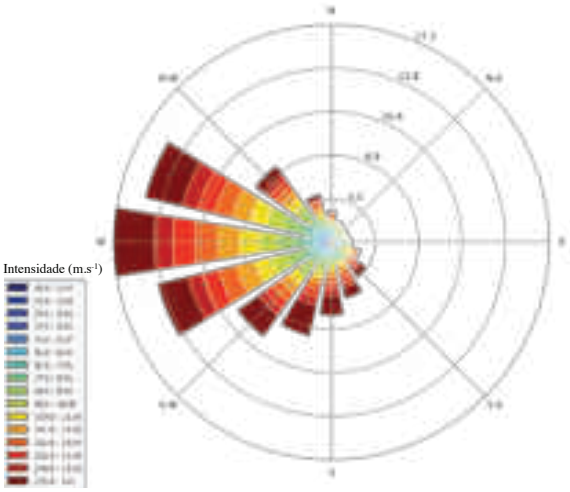


Fig. 2. Os dados de direção(º) e intensidade (m.s^{-1}) do vento para cada célula de 5ºx5º são apresentados graficamente sobre a forma de rosas de ventos.

O gráfico encontra-se organizado de forma a apresentar as quartas (setores de 22,5º) com representação dos pontos cardeais respetivos. As intensidades apresentam a velocidade do vento a 10 metros em m.s^{-1}. Os círculos em torno do centro da rosa apresentam os valores normalizados (percentagens de ocorrência).

No exemplo gráfico da figura 2 obtido através da componente u e v de 1979 a 2019 conclui-se que o vento soprou de forma dominante do sector compreendido entre 238,25º e 301,75º e, quando soprou dessa direção em aproximadamente em 10% das vezes, verificaram-se ventos com intensidade superior a 15 m.s^{-1}.

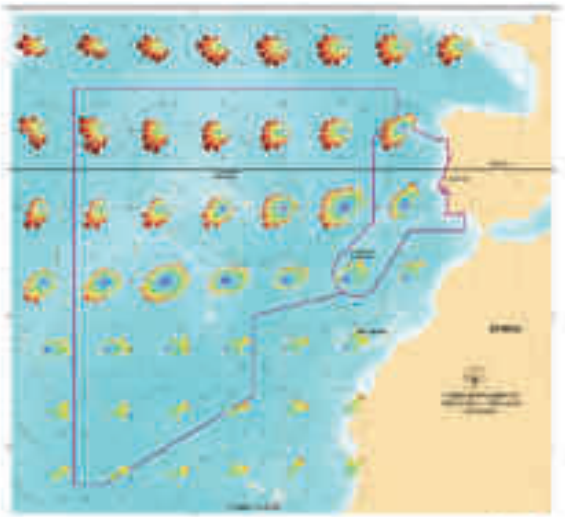


Fig. 3. Protótipo de Carta de Roteamento produzida com base na informação do modelo ERA5

Os dados obtidos a partir do modelo ERA 5 foram comparados com as direções publicadas pela *NGA* nas *Pilot Charts* do Atlântico Norte (Figura 4). Embora as abordagens gráficas de representação da informação apresentem algumas diferenças, e.g. ao nível dos setores de agregação das direções, verifica-se que os resultados são em geral semelhantes, sendo que o ERA 5 apresenta valores atualizados até ao ano 2019.



Fig. 4. Extrato da Pub. 106 - Pilot chart para o Atlântico Norte publicado pela NGA em 2002

Através do netCDF do modelo ERA 5 foi recolhida a posição central de cada célula (latitude e longitude) e criada uma lista de posições à qual foi associada cada uma das rosas dos ventos correspondente. No protótipo de carta de Roteamento (Figura 3) são apresentadas as rosas de forma que a posição do centro de cada uma das rosas de vento coincidam com o centro de cada célula. Desta forma são visíveis graficamente as condições prevalecentes para a área de 5ºx5º centrada na posição da rosa.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no processo permitem observar uma concordância entre as direções e intensidades de ventos prevalecentes, calculados a partir do modelo ERA5 com os dados publicados nas *Pilot Charts* da *National Geospatial-Intelligence Agency*. Os resultados gráficos permitem ser integrados em Sistemas de Informação Geográfica para produzir Cartas de Roteamento ou outras publicações náuticas de apoio ao planeamento.

Neste momento este trabalho permitiu criar um protótipo de Carta de Roteamento que será melhorada com a adição dos elementos cartográficos e estatísticas com séries temporais de agitação marítima observada em sensores da rede de monitorização do IH.

REFERÊNCIAS

ECMWF. (2020a). "CDS - ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=overview.

ECMWF. (2020b). "ERA5 - CDS dataset documentation " Acedido em setembro, 2020, no endereço

https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5.

Manwell, J. F., J. G. McGowan and A. L. Rogers (2009). Wind Energy Explained, Theory, Design and Application.

NASA (1976). US Standard Atmosphere, 1976. NASA.

NGA. (2020). "Marine Safety Information - Atlas of Pilot Charts." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://msi.nga.mil/Publications/APC.

Roubeyrie, L. and S. Celles. (2018). "Windrose's documentation." Acedido em set, 2020, no endereço https://windrose.readthedocs.io/en/latest/.

A evolução da rede de boias multiparamétricas no IH

Alves, M. (1); Almeida, S. (1); Vitorino, J. (1); Esteves, R. (1); Martins, I. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. margarida.alves@hidrografico.pt

Resumo: Em 2000, o IH introduziu o conceito MONIZEE: infraestrutura integrada de monitorização e previsão operacional da ZEE Portuguesa. Na altura, esta componente de monitorização integrava a infraestrutura as redes de boias ondógrafo e de estações maregráficas. Em 2009, estas capacidades foram ampliadas com a implementação das redes de boias multiparamétricas (projetos MONICAN e RAIA) e dos radares costeiros (projeto SIMOC). Atualmente o MONIZEE contribui para a infraestrutura europeia de investigação do oceano costeiro JERICO-RI.
Neste artigo descreve-se a validação feita aos dados das boias multiparamétricas, desde 2009 até hoje, identificando os dados adquiridos por este tipo de boias e os mecanismos utilizados na sua disseminação na comunidade.
Os dados adquiridos por estas plataformas podem ser consultados no portal do Instituto Hidrográfico e portais internacionais. Brevemente, toda esta informação poderá ser visionada e descarregada no portal do Hidrográfico+, cumprindo a diretiva INSPIRE, relativa a instalações de monitorização do ambiente.

Palavras-chave: boias multiparamétricas, Hidrográfico+, MONIZEE, validação de dados em tempo real.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o Instituto Hidrográfico (IH) ampliou de forma significativa a sua capacidade de monitorização em tempo real do meio marinho, com a introdução da rede de boias multiparamétricas (Martins *et al.,* 2010; Almeida *et al.,* 2012) e dos radares costeiros de alta resolução (Fernandes & Almeida, 2012).
A implementação de uma rede de boias multiparamétricas com envio de dados em tempo real, originou a criação de um sistema operacional automatizado com aplicação de procedimentos de controlo e validação, em tempo quase real. Neste artigo, são abordadas as etapas, desde a receção à disponibilização de dados à comunidade

2. A PRIMEIRA BOIA MULTIPARAMÉTRICA E A EVOLUÇÃO DA REDE

As duas primeiras boias multiparamétricas instaladas pelo IH ao largo da costa continental portuguesa foram adquiridas no quadro do projeto MONICAN (Monitorização do Canhão da Nazaré) financiado pelo programa EEA Grants 2004-2009. Estas duas boias foram instaladas em duas posições ao largo da Nazaré, na região de influência do Canhão da Nazaré, vindo a constituir o núcleo do Observatório do Canhão da Nazaré MONICAN (Martins *et al.*, 2010).
Após a aquisição da primeira boia, no 1º trimestre de 2009, em cooperação com os técnicos noruegueses da Oceanor, a boia foi configurada e fundeada a 24 de abril de 2009, na batimétrica dos 1900 metros (Almeida, 2009) e a cerca de 56 km da costa. No ano seguinte foi fundeada a segunda boia na Nazaré na batimétrica dos 80 metros.
Através da infraestrutura observacional do projeto RAIA, efetuou-se o fundeamento da terceira boia desta rede a 23 de maio de 2010, a boia oceânica de Leixões (Almeida *et al.,* 2012). Mais tarde em junho de 2014 acrescentou-se outro ponto de observação na costa sul continental portuguesa com a boia de Faro oceânica. Por último, ao abrigo do projeto de acústica submarina (SUB-ECO), com financiamento do Ministério da Defesa, foi instalada em abril de 2020 a boia de Sines Oceânica.
Atualmente, o IH mantém cinco pontos de observação com boias desta tipologia que são apresentadas por ordem cronológica do seu fundeamento na Tabela I e a sua localização geográfica na Fig.1. Desta forma já é possível obter uma boa cobertura da nossa costa continental.

.

Tabela I: Datas de fundeamento das boias multiparamétricas e as suas profundidades.

Nome da boia	Data de fundeamento	Prof. (m)
Oceânica Nazaré (CSA88-1)	24 abril 2009	1900
Costeira Nazaré (CSA88-2)	22 março 2010	80
Oceânica Leixões (CSA89)	23 maio 2010	1600
Oceânica Faro (CSA81)	10 junho 2014	1350
Oceânica Sines (CSA83)	29 abril 2020	1800

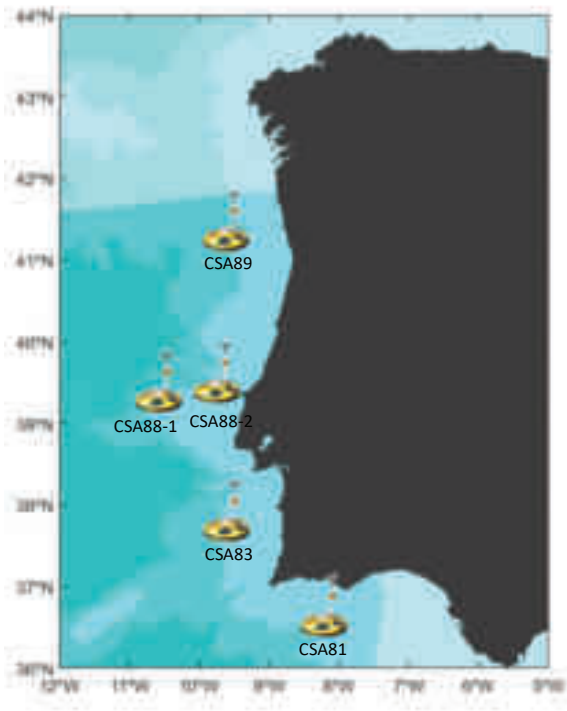


Fig. 1 – Localização geográfica das Boias multiparamétricas MONIZEE do Instituto Hidrográfico.

A rede de boias multiparamétrias constitui uma componente essencial da infraestrutura de monitorização MONIZEE operada pelo IH.
Dos cinco pontos de observação existentes, quatro encontram-se localizados ao longo da vertente continental portuguesa, entre a batimétrica dos 1300 e a dos 1900 metros. Esta boias recolhem assim medições fundamentais para monitorizar e compreender quer os mecanismos de transporte ao longo da margem continental portuguesa, quer os processos de interação entre o oceano costeiro e o oceano profundo. A quinta boia encontra-se localizada na plataforma média ao largo da Nazaré, na batimétrica dos 80 metros, proporcionando medições essenciais para compreender a circulação e processos costeiros nessa área.
Esta tipologia de equipamentos tem a capacidade de aquisição de dados meteorológicos, agitação marítima, temperatura da água a vários níveis, dados ambientais e correntométricos, bem como a possibilidade de colocação de outros sensores em amarração (Almeida, 2009).

3. RECEÇÃO DOS DADOS

Os dados adquiridos por estes equipamentos são recebidos de forma horária no IH via e-mail através de comunicações satélite IRIDIUM. Estes e-mails, que contêm a informação encriptada medida nas boias, são descodificados e convertidos para *ascii* com base num conjunto de software específico fornecidos pelo fabricante.

Uma vez rececionado o e-mail, a informação descodificada é carregue numa base de dados que se encontra preparada para gerir os diferentes tipos de dados adquiridos:

- Agitação marítima (altura significativa, altura máxima, direção média, dispersão no período de pico, período de onda máxima, direção média no período de pico, período médio, período de energia e período de pico);
- Meteorológicos (temperatura do ar, pressão atmosférica, humidade relativa, intensidade, direção e rajada do vento e radiação solar);
- Ambientais (oxigénio, fluorometria (clorofila-a) e presença de hidrocarbonetos);
- Temperatura da água (podendo ser adquirida a diferentes níveis de profundidade);
- Correntometria em 7 níveis de profundidade;
- Parâmetros de acústica.

Importa salientar que, os dados brutos e espectrais de agitação marítima, os dados correntométricos brutos nos primeiros 80m da coluna de água e de acústica submarina são guardados em memória interna dos equipamentos e são recuperados quando se procede à manutenção semestral da respetiva boia.



Fig. 2 – Fluxo de dados em tempo real e auto registo das boias multiparamétricas MONIZEE.

4. VALIDAÇÃO DOS DADOS

Nas duas primeiras boias fundeadas, oceânica e costeira da Nazaré, o IH apenas recebia as informações recolhidas, e carregava essa informação de forma automática na base de dados.
Com o fundeamento da terceira boia, boia oceânica de Leixões, decidiu-se avançar com a implementação das recomendações do EuroGOOS de forma a haver uma padronização dos dados (EuroGOOS DATA-MEQ Working Group, 2010). Assim, na boia oceânica de Leixões foi aplicada essa metodologia de validação de dados feita em tempo real e de forma automática como descrito no artigo de Almeida *et al.,*

(2012). Essa mesma metodologia estendeu-se a todas as boias fundeadas.

4.1. Indicadores de controlo de qualidade

Como descrito por Almeida *et al.* (2012), o controlo de qualidade efetuado aos dados em tempo real assenta na execução de etapas sucessivas, em que a cada passo são associados indicadores que espelham a validação efetuada (Fig. 3).

Code	Definition
0	No QC was performed
1	Good data
2	Probably good data
3	Bad data that are potentially correctable
4	Bad data
5	Value changed
6	Below detection limit
7	In excess of quoted value
8	Interpolated value
9	Missing value
A	Incomplete information

Fig. 3 – Escala de indicadores de qualidade.

4.2. Fluxo de dados

Após a receção do e-mail enviado pela boia, os dados são convertidos para unidades físicas e sujeitos a uma validação automática que é executada em diferentes etapas que seguem a seguinte ordem (Fig 4):

1. Teste ao limite dos sensores;
2. Teste aos limites climatológicos;
3. Testes entre valores consecutivos;
4. Teste de estacionariedade.



Fig. 4: Esquema do fluxo de dados no que respeita à validação (Almeida et al., 2012).

Em cada uma das etapas anteriormente enumeradas, cada parâmetro é validado como "bom", se estiver dentro dos limites apresentados, ver Tabela II, ou considerado como "mau", se exceder esses limites. Sempre que a um dos parâmetros é atribuído o indicador de qualidade "mau", o mesmo não passa à etapa seguinte (Almeida *et al.*, 2012).

Tabela II: Janela de validação adotada (Almeida et al., 2012).

Na etapa de validação face aos limites climatológicos, também é feita uma verificação geográfica, de forma a perceber se a boia permanece no raio de espalho aceitável relativamente à posição de fundeamento. Caso isso não se constate, é enviado, ao grupo de monitorização, de forma automática um e-mail a informar que a boia se encontra fora do local de posicionamento. Isto pode significar que a amarração da boia colapsou e que a mesma se encontra à deriva. Na última etapa da validação, são confrontados os valores dos últimos 6 registos e verificada a sua consistência. Se o valor de algum parâmetro se mantiver constante ao longo desses 6 registos seguidos, esse parâmetro irá apresentar um controlo de qualidade "mau". Isto pode acontecer se o sensor não estiver com um bom funcionamento ou não conseguiu fazer uma leitura correta do parâmetro e o *logger* da boia não recebe o valor correto para anexar à mensagem de dados a enviar.

Após a execução da validação acima mencionada, os dados dão entrada, também de forma automática, na base de dados.

5. DISSEMINAÇÃO DOS DADOS DAS BOIAS MULTIPARAMÊTRICAS

No decurso de já mais de uma década de operação, a rede de boias multiparamétricas do IH tem-se revelado um pilar fundamental na capacidade de monitorização das áreas marinhas nacionais e no apoio a diversas comunidades de utilizadores.

Os dados em tempo-real disponibilizados por estas boias – quer através do sitio da internet do IH quer por outros mecanismos têm-se revelado importantes no apoio a diversas atividades da Economia Azul ou aos decisores locais, regionais e nacionais possibilitando, entre outros aspetos, o acompanhamento da evolução das condições ao largo e a validação das previsões fornecidas pelos modelos numéricos.

A multiplicidade de observações realizadas por estas boias, possibilitando uma análise compreensiva das condições no oceano costeiro e na zona de transição costeira, tem representado uma mais-valia para a comunidade científica nacional e internacional. Esse interesse é expresso pelos diversos trabalhos de investigação e artigos científicos produzidos tendo por base os dados destas boias.

Estas diversas características estão presentemente a ser potenciadas no quadro de articulações com parceiros internacionais, em particular com parceiros Europeus. Como parte da infraestrutura MONIZEE, os dados das boias multiparamétricas do IH estão a ser disseminados, entre outros, para o nodo regional Irlanda-Biscaia-Ibéria (IBIROOS) do sistema global de observação do oceano (GOOS) e para o sistema de disseminação de dados para os centros meteorológicos mundiais (GTS) através dos respetivos pontos de contacto nacionais ou regionais.

A inserção da infraestrutura MONIZEE na infraestrutura de investigação europeia para o oceano costeira JERICO-RI, por exemplo, tem vindo a permitir uma importante interação com diversas instituições europeias em áreas como a calibração de sensores, as metodologias de controlo e qualidade dos dados, a intercomparação das medições ou a interoperabilidade, entre outras. Esta articulação permitirá, assim, no futuro próximo responder às necessidades dos utilizadores num enquadramento mais vasto, estendido a toda a margem Europeia, e com critérios de qualidade dos dados que são uniformes ao longo dessa vasta área geográfica.

Está a decorrer no IH o projeto Hidrográfico+ (H+) que, através da sua infraestrutura de suporte, permite explorar diferentes tipos de dados geoespaciais, dos quais fazem parte os adquiridos pelas boias multiparamétricas, bem como descarregar essa mesma informação. Toda esta informação poderá ser consultada no geoportal https://geomar.hidrografico.pt/ que ainda se encontra em desenvolvimento. O portal Hidrográfico+ constituirá o veículo de disseminação que concretiza a contribuição da infraestrutura MONIZEE para o mecanismo de Virtual Access da infraestrutura JERICO-RI, presentemente a ser implementado no quadro do projeto europeu JERICO-S3 (H2020, INFRAIA) e que permitirá a utilizadores de todo o mundo o acesso a dados e informação colhida por infraestruturas de monitorização do oceano costeiro ao longo de toda a margem Europeia.

6. CONCLUSÕES

Neste artigo descreve-se a história e a evolução do processo técnico de tratamento dos dados em tempo real desde a sua transmissão para o IH, passando pelo método de validação de dados aplicado e a sua disseminação por toda a comunidade.

Esta disseminação torna-se uma mais-valia pois permite ao utilizador ter acesso mais rápido a diferentes conjuntos de dados.

REFERÊNCIAS

Almeida, S. (2009). MONICAN – Análise de seis meses de dados – maio a novembro. Relatório de Progresso de Trabalhos REL PT OC 12/09

Almeida, S., Jorge da Silva, A., Esteves, R., Baptista, R. (2012). Validação automática dos dados da estação Alfredo Ramalho. 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 349 – 352.

EuroGOOS DATA-MEQ Working Group (2010). Recommendations for in-situ data Near Real Time Quality Control.

Fernandes, C., Almeida, F. (2012). Projetos SIMOC e TRADE. Obtenção de dados de corrente de superfície e de agitação marítima remotamente. 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 113 – 116

Martins, I., Vitorino, J., Almeida, S. (2010). The Nazare Canyon observatory (W Portugal) Real-time monitoring of a large submarine canyon. OCEANS 2010 IEEE – Sydney proceedings, 1-7. DOI: 10.1109/OCEANSSYD.2010.5603854

Interpolação de variáveis oceanográficas com distribuição tridimensional através do método *Empirical Bayesian Kriging 3D*

Nobre, A. (1); Godinho, S. (1); Nunes, P. (1); Mosqueira, M. (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49; 1249-093 Lisboa; ana.nobre@hidrografico.pt.

Resumo: Este trabalho relaciona-se com o projeto AQUIMAR – Caraterização geral de áreas AQUIcolas para estabelecimento de culturas MARinhas – sendo um dos objetivos do projeto, a caraterização das condições oceanográficas de locais adequados à prática da aquicultura.
O Instituto Hidrográfico realizou campanhas oceanográficas que permitiram a medição de parâmetros físico-químicos e a colheita de amostras de água a diferentes profundidades, na margem continental portuguesa. Uma vez que é impossível recolher dados em toda a área de estudo, foi necessário interpolar os valores das variáveis na zona de interesse. Dada a natureza 3D dos dados, foi utilizado o método de interpolação *Empirical Bayesian Kriging* (EBK) 3D; que consiste num método de interpolação geoestatístico, que utiliza o EBK para interpolar dados de pontos 3D. O objetivo deste trabalho foi implementar uma metodologia para a modelação de variáveis, através do método EBK3D, que permite obter e visualizar superfícies contínuas horizontais que variam ao longo da coluna de água.

Palavras-chave: AQUIMAR, geoestatística, *Empirical Bayesian Kriging* 3D, interpolação 3D, sistemas de informação geográfica.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi a implementação de uma metodologia, desenvolvida através de um software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para modelação de dados recolhidos no âmbito do projeto AQUIMAR e consequente obtenção de superfícies contínuas horizontais 2D e 3D de temperatura da água e da salinidade ao longo da coluna de água. As interpolações foram realizadas com o método *Empirical Bayesian Kriging* (EBK), na sua variante 3D - EBK3D.
O método de interpolação geoestatístico EBK é um procedimento de interpolação probabilístico que utiliza semivariogramas estimados na análise dos dados (Krivoruchko, 2012). A qualidade deste método foi demonstrada por Krivoruchko e Gribov (2019), por exemplo, na interpolação de dados de precipitação.

O método EBK3D, por seu lado, assenta no método EBK de modo a interpolar dados 3D. No corrente projeto, é utilizado de modo a interpolar os perfis de dados de temperatura e salinidade adquiridos, de modo a produzir um único modelo 3D. Este *output*/modelo é representado por uma série de camadas, em que é possível ao utilizador alternar a visualização das superfícies contínuas interpoladas entre as várias profundidades.

2. DADOS E METODOLOGIA

O projeto AQUIMAR - Caraterização geral de áreas AQUIcolas para estabelecimento de culturas MARinhas - tem como objetivo a caraterização das condições oceanográficas das áreas em estudo, junto à costa de Portugal continental, para otimizar a seleção de locais para a instalação de infraestruturas destinadas à prática da aquicultura. No âmbito deste projeto, o Instituto Hidrográfico (IH) realizou quatro missões de recolha de dados oceanográficos e amostras de água. Estas missões foram realizadas entre outubro de 2018 e março de 2020 e permitiram a aquisição de parâmetros oceanográficos e físico-químicos da coluna de água das áreas amostradas. Esta aquisição foi realizada através de sondas multi-paramétricas CTD (medição da condutividade, temperatura e profundidade da água), bem como através da recolha de amostras de água a profundidades previamente selecionadas.
Os dados foram recolhidos nas seguintes áreas:

- Área A - De Viana do Castelo a Leixões;
- Área B - De Aveiro à Figueira da Foz;
- Área C - Peniche;
- Área D - Sesimbra a Sines;
- Área E - Costa Sul do Algarve.

Os dados processados ao longo deste trabalho foram obtidos na primeira fase da missão do projeto AQUIMAR e datam de outubro de 2018. Nesta primeira etapa da missão foram amostradas e validadas 187 estações (Figura 1), até à profundidade máxima de 300 metros.

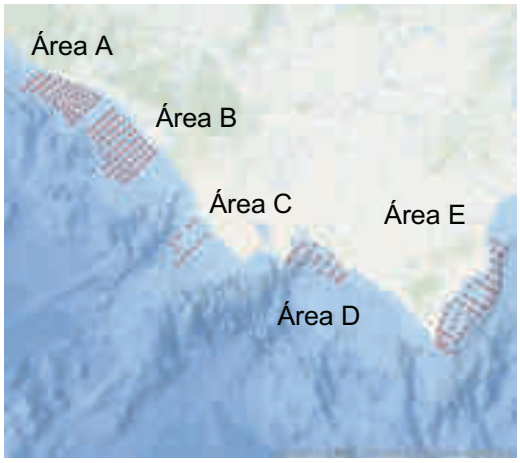


Fig. 1. Estações amostradas no projeto AQUIMAR

Os valores dos parâmetros da temperatura (T) da água e salinidade (S) só são conhecidos nos locais onde foram medidos, mas podem ser observados em qualquer local. Pelo que foi necessário recolher a métodos de interpolação para a previsão dos valores destes parâmetros para os locais onde não foram medidos, dentro da área de estudo.
De facto, de modo a complementar a caraterização da área de estudo, os dados obtidos foram modelados, através de um software SIG, de modo a obter as superfícies contínuas horizontais de temperatura e salinidade ao longo da coluna de água.
Assim, os parâmetros são modelados recorrendo a uma superfície z=f(x,y), em que as coordenadas x e y representam a posição geográfica e a coordenada z, representa o valor dos parâmetros nesse ponto (Clarke, 2003).

A interpolação espacial é um processo que permite estimar valores de uma variável em locais onde os dados não foram observados, através de dados que efetivamente foram adquiridos no local (Krivoruchko, 2012).

A interpolação gera uma superfície contínua constituída pelos valores da variável interpolada. Esta variável é obtida a partir de dados discretos (pontos que possuem uma determinada localização geográfica e parâmetros oceanográficos associados) recolhidos e observados na área de estudo.

Uma vez que os dados adquiridos, possuem natureza tridimensional, foi utilizado o método de interpolação *Empirical Bayesian Kiriging* (EBK) 3D de modo a obter as superfícies contínuas ao longo da coluna da água dos parâmetros T e S. As Figuras 2,3 e 4 apresentam gráficos obtidos durante a fase de análise dos dados.

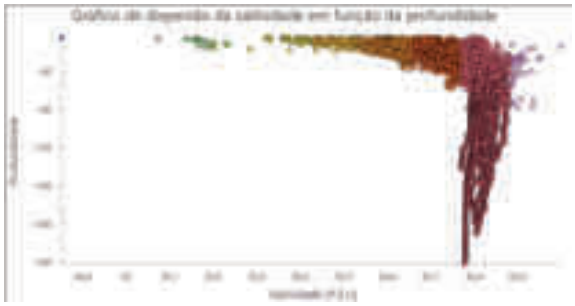


Fig. 2. Gráfico da dispersão da variável salinidade em profundidade (área A)

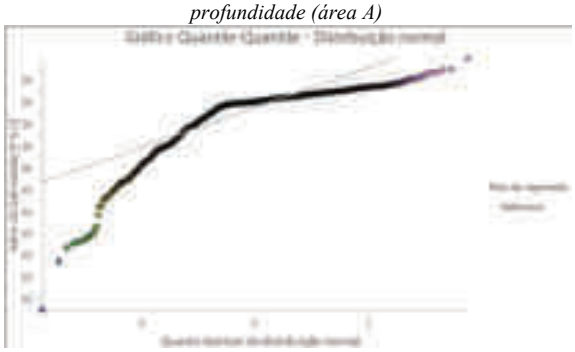


Fig. 3. Gráfico Quantil-Quantil para a variável Salinidade na área A

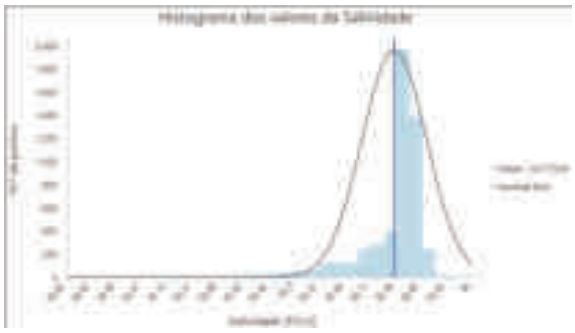


Fig. 4. Histograma da variável Salinidade nos pontos da área A

O método de interpolação EBK3D, disponível através da extensão *Geostatistical Analyst* do software ArcGIS Pro 2.5.0, é um procedimento geoestatístico que recorre ao método EBK para interpolar dados e pontos 3D. Trata-se de um procedimento de interpolação probabilístico que emprega uma série de semivariogramas estimados na análise dos dados.

De modo concreto, o método EKB3D utiliza pontos com coordenadas XYZ e uma variável e interpola os valores da variável para uma camada 3D. Esta camada disponibiliza ao utilizador um "range slider" que permite alternar a visualização das superfícies contínuas interpoladas entre as várias profundidades.

A metodologia de trabalho foi desenvolvida em várias fases distintas:

- Na primeira fase, foram apenas considerados os dados de T e S recolhidos na área A (Figura 1), em diferentes pontos ao longo da coluna de água até à profundidade máxima de 242 metros. Os dados foram recolhidos em coordenadas geográficas e foram convertidos para um sistema

de coordenadas projetadas, neste caso o sistema de referência ETRS89/PTTM06;

- No passo seguinte foi realizada uma análise exploratória dos dados através de estatística descritiva (p.e. construção de histogramas) e da sua visualização (Figuras 2, 3 e 4);
- Após análise dos dados, correção e/ou remoção dos valores anómalos foi realizada a interpolação com recurso ao método EBK3D;
- O método EBK3D permitiu gerar superfícies geoestatísticas contínuas para a T da água e S;
- O controlo de qualidade do método de interpolação foi realizado através da metodologia de validação cruzada ou *cross validation* (CV). Este método permite verificar qual o modelo mais adequado à representação deste tipo de dados; consiste em retirar um ponto da amostra (supondo que não tenha sido observado) e obter uma estimativa do valor da variável para esse local com base nos outros pontos da amostra. Depois verifica-se a diferença entre o valor estimado (interpolado) e o valor que foi observado. Aplica-se o método a todos os pontos da amostra, separadamente. No método CV, são obtidos os erros estatísticos associados à previsão, e tendo como base os critérios de comparação da tabela I (adaptada de Li et al. (2012), considera-se que uma boa estimativa deve apresentar o *Average Standard Error* e o *Root Mean Square* com valores próximos entre si e próximos de zero e o *Root Mean Square Standardized* deve ser o mais possível próximo de 1.

Tabela. I. Condições para um modelo ser considerado adequado

Condições	Conclusão:
ASE > RMS; RMSS < 1	*Overestimating the variability in your predictions*
ASE < RMS; RMSS > 1	*Underestimating the variability in your predictions*
ASE ≈ RMS; RMSS ≈ 1	*Correctly assessed*

- A Tabela II apresenta os parâmetros estatísticos, obtidos por CV da interpolação EKB3D, para diferentes modelos, de T e S para a área de estudo de Viana do Castelo a Leixões;
- Finalmente, os dados da área A foram interpolados através do método EBK, apenas para o parâmetro temperatura, e foram obtidos modelos 2D para alguns níveis de profundidade, nomeadamente 6, 30, 50 e 75 metros. A tabela III revela os parâmetros estatísticos, obtidos por CV da interpolação EBK dos referidos níveis de profundidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada uma das interpolações foi realizado o procedimento de CV, ferramenta disponível através do *Geostatistical wizard.* Como resultado do processo são determinados vários parâmetros estatísticos que ajudam o utilizador a avaliar a qualidade da interpolação.

A leitura das tabelas I e II permite verificar que existem vários modelos com valores de ASE próximos de RMS, indicativos de uma boa estimação. Todavia, ao analisar os RMSS verificamos que o indicador estatístico está afastado da unidade. Dessa confrontação de parâmetros estatísticos conclui-se que o método está a exagerar o efeito da variância dos dados.

No entanto, verifica-se que, no caso da salinidade a interpolação EBK3D usando o modelo de semi-variograma K-Bessel apresenta os seguintes resultados:

- ASE ≈ RMS;
- RMSS está dentro do intervalo [0,90-1,1].

Este modelo apresenta os resultados mais adequados pois, de todos os disponíveis, é o mais flexível e correto (ESRI, s.d.).

Tabela. II. Resumo dos parâmetros estatísticos associados à interpolação EKB3D

Área	Modelo[1]	ASE	RMS	RMSS
A Temp	Exponencial	0.0461	0.0229	0.4194
A Sal	Exponencial	0.0128	0.0107	0.6938
A Temp	Whittle	0.0273	0.0193	0.6023
A Sal	Whittle	0.0098	0.0097	0.8206
A Temp	K-Bessel	0.0264	0.0228	0.8173
A Sal	K-Bessel	0.0100	0.0104	0.9054

Legenda dos parâmetros estatísticos:

ASE – Average Standard Error

RMS – Root-Mean-Square

RMSS – Root-Mean-Square Standardized

1 Todos os modelos foram aplicados sem transformação e com a remoção da tendência na variação dos dados (tendência de 1.ª Ordem)

Face aos resultados obtidos, e como foi referido, foi ainda utilizado o método EBK de modo a obter, para quatro níveis de profundidade, a correspondente superfície contínua horizontal.

Este método foi aplicado apenas na zona de Viana do Castelo a Leixões e para o parâmetro temperatura. Obtiveram-se, nestes casos, os parâmetros indicados na Tabela III.

Tabela. III. Resumo dos parâmetros estatísticos associados à interpolação EBK para a variável oceanográfica Temperatura (para a zona de Viana do Castelo a Leixões)

Área	**Modelo**	ASE	RMS	RMSS
6 mts	Power	0.3736	0.3649	0.9898
30 mts	Power	0.6694	0.6743	1.0017
50 mts	Power	0.5349	0.5485	1.0168
75 mts	Power	0.2591	0.2578	0.9925

Nos modelos obtidos, foi verificado que ASE ≈ RMS e que RMSS ≈ 1.

Deste modo, verifica-se que perante os modelos obtidos através do método EBK, o RMSS está perto de 1, o que não acontece com o método EBK3D.

Uma razão pode estar relacionada com o facto de que os dados recolhidos variarem mais rapidamente na direção vertical do que na direção horizontal. Os parâmetros temperatura e salinidade, ao longo da mesma camada, não sofreram alterações significativas. No entanto, apresentam uma significativa alteração em profundidade. A figura 6 apresenta o resultado tridimensional da interpolação da salinidade para a área de Viana do Castelo a Leixões.

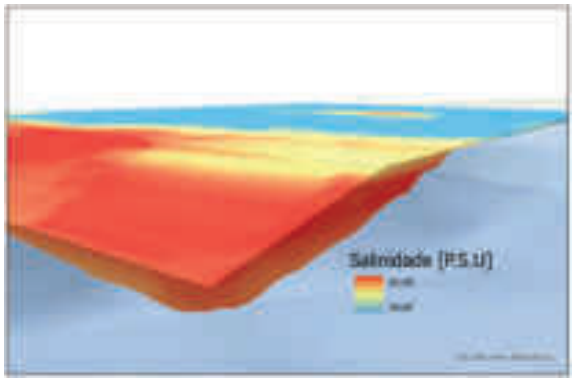


Fig. 6. Modelo multidimensional com os dados interpolados da Salinidade – Método EBK3D, com o modelo de semivariograma K-Bessel, com remoção de tendência, sem transformação - parâmetros do modelo 500 simulações

4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Os processos de interpolação dependem de uma análise preliminar de dados e a correção dos valores anómalos. Neste trabalho foram realizadas várias interpolações usando os algoritmos EBK e EBK3D. A análise dos parâmetros estatísticos calculados no procedimento de *cross validation* são importantes auxiliares dos analistas ajudando-os a avaliar a qualidade da interpolação.

Os parâmetros estatísticos expostos na tabela I permitem concluir que no caso da interpolação da temperatura com EBK3D o ASE ≈ RMS e a RMSS está fora do intervalo [0,90-1,1]. No caso da salinidade a interpolação EBK3D usando o modelo de semi-variograma K-Bessel a ASE ≈ RMS e a RMSS está dentro do intervalo [0,90-1,1].

Os autores estimam que os resultados apresentados estão associados ao efeito da anisotropia nas direções horizontais (latitude e longitude) vs vertical (profundidade). A prova desta hipótese obriga a uma análise fina das covariâncias, processo que não foi possível de realizar no âmbito deste estudo.

REFERÊNCIAS

Clarke, K. (2003). Getting started with geographic information systems (4 ed). NJ: Prentice Hall.

Krivoruchko, K. (2012). Empirical Bayesian Kriging implemented in ArcGIS geostatistical analyst. ArcUser.

Krivoruchko, K. e Gribov, A. (2019). Evaluation of Empirical Bayesian Kriging. Spatial Statistics, Elsevier.

ESRI (s.d.). What is Empirical Bayesian kriging. URL: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm

Li, Y. e Hernandez, H.e Aviles, M. e Knappett, P.S.K. e Giardino, J.R. e Miranda, R. e Puy, M.J., Padilla, F. e Morales, J. (2012). Empirical Bayesian Kriging method to evaluate inter-annual water-table evolution in the Cuenca Alta Del Rio Laja aquifer, Guanajato, México. Journal of Hydrology.

Aquisição de dados hidrográficos de elevada resolução – um *trade off* entre necessidade e capacidade

Marques, C. (1); Dias, T. (1); Vicente, J. (1); Veiga, L. (1); Nunes, P. (1)

(1) Instituto Hidrográfico. videira.marques@hidrografico.pt

Resumo: Na atualidade, o problema da gestão e manutenção de dados hidrográficos é uma das maiores preocupações quando estão em causa dados de elevada resolução. Os sistemas multifeixe de alta resolução são hoje capazes de produzir 50 Gb de dados diários, o que obriga a que o valor gasto na aquisição de dados necessite de ser acompanhado pelo investimento no seu armazenamento. Passando das bibliotecas de baixo custo e reduzida manutenção, para grandes volumes de dados em bibliotecas de elevado custo e excessiva manutenção. Pelo interesse científico, histórico e de referência, o desejável é adquirir o maior volume de dados possível, na melhor resolução possível. No entanto o custo elevado do armazenamento pode ser um obstáculo.

Neste artigo é efetuado um ensaio sobre o impacto das capacidades de armazenamento na definição técnica dos dados hidrográficos a adquirir e nas possíveis consequências que daí advêm.

Palavras-chave: armazenamento, dados hidrográficos, dados geoespaciais, manutenção.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) é na sua essência, não só uma instituição militar, como também um laboratório de estado. É o Serviço Hidrográfico Nacional com responsabilidade internacional exclusiva pela produção da cartografia Náutica, não só na área correspondente ao mar português, como também em algumas áreas em África correspondentes a países de língua portuguesa, fazendo uso fundamental da Cartografia Hidrográfica. Cumulativamente, é ainda a entidade reguladora das atividades de produção de cartografia hidrográfica em Portugal (Decreto-lei n.º 130/2019, de 30 agosto).

O IH mantém nos seus trabalhos, o foco na qualidade dos dados, construindo ao longo dos tempos uma ampla experiência, nos trabalhos e estudos hidrográficos, e na cartografia hidrográfica e cartografia náutica como produto final.

Toda a atividade desenvolvida na área da hidrografia e da cartografia, implica não só a aquisição de grandes quantidades de dados hidrográficos de elevada resolução, mas também a produção de um elevado número de produtos cartográficos, subsistindo a necessidade imperativa de que todos estes dados sejam mantidos em arquivo, quer para efeitos científicos, quer para efeitos históricos e de referência ou até mesmo para efeitos legais. Exemplifica-se a necessidade de manter registos desde pelo menos 1860 para efeitos de decisões legais relativas ao domínio Público marítimo.

A atividade hidrográfica era até há poucos anos uma atividade orientada a produtos, nomeadamente a carta náutica. A aquisição de dados e o processamento era orientado pela natureza e requisitos do produto pretendido. Esse paradigma tem vindo progressivamente a alterar-se. Atualmente, o processo é cada vez mais orientado à informação (*data centric*) com potencial para derivar múltiplos produtos e conhecimentos (Figura 1).

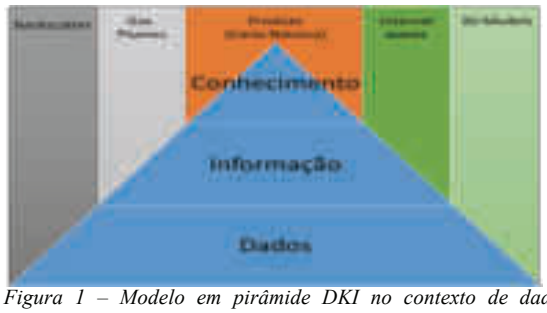


Figura 1 – Modelo em pirâmide DKI no contexto de dados batimétricos

Através do modelo em pirâmide - *Data*, Information and Knowledge (DIK) *model* - vulgarmente adotado na concetualização do ciclo de evolução de dados para conhecimento, constatamos uma analogia com a realidade, para produzir conhecimento precisamos de um grande volume de dados na base do processo.

No contexto da hidrografia é esta a realidade, adquirindo—se inicialmente dados de elevada resolução (muitos Gb/Tb de dados), os quais são posteriormente submetidos a processamento, aumentado o seu volume, que numa fase final dão origem a produtos. Este modelo de ciclo de vida manteve-se imutável nos seus princípios, a grande alteração passa pela diversidade de produtos derivados que podem ter origem nos mesmos dados adquiridos.

As novas tecnologias vieram permitir a aquisição massiva de dados, contudo, esta mudança de paradigma obriga a rever o ciclo de vida dos dados.

A aquisição massiva de dados deu origem a múltiplas e novas oportunidades, mas também a novos desafios: os recursos de armazenamento e preservação da informação não são infinitos, a gestão de grandes volumes de dados é uma tarefa

complexa e o processamento de *big data* é uma atividade com requisitos tecnológicos exigentes, quer na especialização de recursos humanos, engenharia de sistemas e capacidade de hardware.

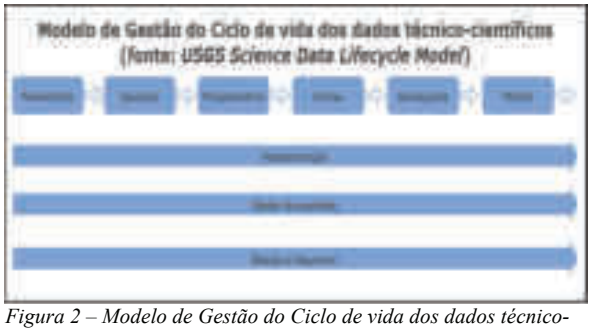


Figura 2 – Modelo de Gestão do Ciclo de vida dos dados técnico-científicos (inspirado no USGS, 2014))

Este artigo pretende discutir as questões associadas às necessárias adaptações do processo de gestão de dados (Figura 1) e da salvaguarda de dados digitais com elevados volumes, por longos períodos.

2. ANTECEDENTES

Desde o início da cartografia e da hidrografia que, tal como em todas as áreas de conhecimento, surgiu a necessidade incontestável de armazenar os dados recolhidos e os produtos desenvolvidos. Até há poucos anos atrás, este problema era sobretudo uma questão de espaço físico, obrigando entidades com responsabilidades oficiais a deter e manter grandes instalações, destinadas especificamente ao arquivo de dados.

O desenvolvimento tecnológico no final do século passado, veio trazer ao mundo novas capacidades de produção e aquisição de dados, recorrendo às capacidades eletrónicas, novos equipamentos aptos para a produção em larga escala de dados foram surgindo. Esta produção alargada veio agravar o problema do armazenamento de dados, que continuou a consistir apenas numa questão de espaço físico, sendo que o custo da aquisição e manutenção desses espaços de arquivo era relativamente baixo, tendo em conta a sua capacidade e durabilidade. Embora a produção alargada pudesse vir a criar necessidades do alargamento dos espaços de arquivo, a evolução tecnológica que se observou na transição do século e nos últimos anos obrigou o mundo a entrar na era digital, onde não só se assiste a um aumento massivo da produção de dados como a incomportabilidade na gestão de tão elevado número de dados obriga à sua mutação considerável em forma, passando o mundo a utilizar primordialmente dados no formato digital, desprezando o formato físico. A constante exigência em obter mais e melhores dados veio ainda focar a evolução dos equipamentos, de hidrografia e cartografia, na obtenção de dados em quantidade elevada e na melhor resolução possível, com produções avassaladoras de dados, a resoluções até há poucos anos apenas imaginadas no cinema.

3. A ATUALIDADE DA GESTÃO

Atualmente, na área da hidrografia, são várias as técnicas de aquisição de dados utilizadas, como por exemplo dados de satélite, multiespectrais, RGB ou radiométricos, dados laser - Lidar, dados fotográficos e vídeo obtidos por drone, sejam RGB ou multiespectrais, dados acústicos como os sistemas multifeixe, entre outros. De todas as possibilidades existe um consenso de que os sistemas acústicos multifeixe são os mais precisos, os de melhor resolução, e também os que permitem maior quantidade de dados, constituindo no entanto um pesado fardo no espaço digital ocupado. Estes sistemas permitem guardar dados de batimetria, relativos ao fundo do mar, mas também dados relativos a toda a coluna de água, misturando-se em muitas outras áreas científicas como a oceanografia, geologia e biologia, por exemplo. A sua relação com o espaço digital ocupado é dominadora e devastadora. Apesar do passo gigante na obtenção de dados, a atual capacidade de processamento e armazenamento abriu portas para sonhar, e estes equipamentos atualmente chegam a produzir até 1 600 feixes de som a cada 20 ms, guardando 80 000 valores de profundidade por segundo. Mas passaram a conseguir guardar também toda a informação de deteção acústica ao longo do feixe sonoro, neste caso a cada 20 mm, o que permite guardar cerca de 4 000 000 deteções ao longo da coluna de água para cada metro de profundidade (tudo isto dependente da profundidade, da frequência). Por exemplo aos 1500 m de profundidade é possível conhecer com uma resolução de 30 cm o que está entre a superfície e o fundo guardando cerca de 1 600 deteções do fundo e 7 200 000 deteções sobre a coluna de água a cada segundo. Estes valores podem traduzir-se na obtenção de dados à escala do Tb em apenas escassos dias de trabalho. Um levantamento hidrográfico numa área portuária pode facilmente produzir 2 Tb em 10 ou 20 dias de sondagem.

Todo este cenário vem revelar um novo desafio nas áreas científicas, o desafio da gestão das capacidades de produção e armazenamento de dados. Se até então o mote era recolher o maior número de dados possível, para posterior análise, nos dias de hoje, o seu armazenamento passou a constituir-se como um possível obstáculo a essa aquisição de dados.

O problema da gestão e manutenção de dados é atualmente da maior preocupação, podendo mesmo vir a estrangular a capacidade de investigação científica. O mundo passou de um período em que o problema é ter poucos dados, para a situação em que existem muitos dados mas uma grande dificuldade em armazenar esses dados. Ao contrário dos antigos sistemas de armazenamento de dados analógicos, físicos, que têm períodos de duração de dezenas de anos, requerendo pouca manutenção, os sistemas de armazenamento de dados digitais têm uma duração de poucos anos (5 ou pouco mais) e requerem manutenção constante. A hipótese de perder dados é

na realidade enorme nos dias de hoje, face a qualquer descuido na manutenção. Adicionalmente, e para tentar minimizar a hipótese de perda de dados, passou a ser indispensável garantir que existem cópias dos dados em arquivo. A única ampla vantagem destes novos sistemas de armazenamento, parece ser a capacidade de arquivo por espaço físico.

Estamos no ponto em que aquando do planeamento da aquisição de dados, é essencial equacionar a capacidade para armazenar os dados obtidos no futuro, considerando mesmo que a aquisição deva ser reduzida, caso se verifique que a capacidade de armazenamento poderá ser esgotada. O *trade-off* entre a quantidade/resolução dos dados obtidos e a capacidade de os arquivar passou a ser um ponto principal na gestão dos trabalhos científicos. A solução para esta gestão tende a ser, ou diminuir a quantidade de dados, a sua resolução, ou investir constantemente no aumento da capacidade de armazenamento levando ao uso de grandes *Data Centers*. Ambas as opções têm desvantagens de peso para a ciência e para a entidade detentora dos dados.

A sensatez diz-nos que devemos manter o máximo de dados na melhor resolução e qualidade possível, só assim se poderá evoluir na investigação científica, mas é necessário garantir também a sua sustentabilidade e os custos envolvidos anualmente revelam-se fortemente pesados. A solução para esta gestão parece ser a criação de um sistema de gestão de dados centralizado, algo que permita manter os dados e simultaneamente permitir o trabalho nestes dados, a capacidade de processamento, de visualização e utilização dos mesmos. A agregação de vários repositórios de dados na mesma estrutura de data center, permite uma considerável redução dos custos, em especial na manutenção envolvida.

4. ESTRATÉGIA

Recentemente, foi publicada a *European Strategy for data* (ESD) (EUROPEAN COMMISSION, 2020b). Este documento apresenta as orientações macro para colocar o espaço europeu no centro de uma economia de dados, identificando claramente o valor económico associado ao recurso informação (Figura 3).

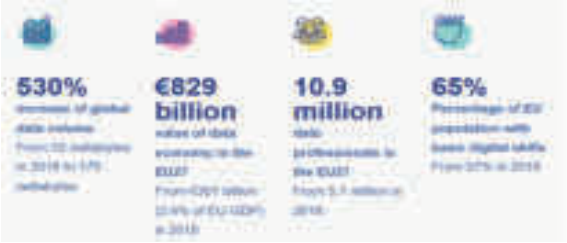


Figura 3 – Projeção da economia dos dados para 2025 (EUROPEAN COMMISSION, 2020a)

Em 2019 foi publicada a *Open Data Directive* (THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2019) onde vem descrito o conceito de *high value datasets* (HVD), atribuindo aos dados geoespaciais um cariz de elevado potencial gerador de valor. Destaca-se sobre este assunto os resultados da consulta pública da ESD coordenada pela Comissão Europeia (CE) com 82,2% dos participantes a identificarem os HVD como um recurso gerador de impacto positivo na economia da zona Euro (COMMISSION, 2020).

Este é o contexto externo dos produtores de informação geoespacial e o Serviço Hidrográfico, deve tê-lo em linha de vista na definição das suas estratégias internas.

Destacamos a ESD como um documento relevante em qualquer análise ou plano que perspetive o futuro. Aqui, a CE notoriamente tem intenção de investir nas capacidades de armazenamento e computação de *cloud* e no desenvolvimento de metodologias de *data science* como solução para os desafios de *big data*.

Na questão da manutenção de repositórios com grandes volumes de dados surge o desafio do financiamento para a sua manutenção, existindo cada vez mais uma visão baseada na federação de repositórios e partilha de custos da sua manutenção.

Através das questões elencadas apresenta-se uma proposta de modelo de gestão dos dados de elevada resolução (Figura 4).



Figura 4 – Data storage framework (adaptado de (E. Hart et al., 2016)

Prevê-se que o processo de aquisição de dados seja visto num contexto mais alargado de gestão de ciclo de vida dos dados, nesse sentido propõem-se as seguintes fases/subprocessos:

1. Identificar o motivo: a aquisição de dados surge de uma necessidade interna ou externa, dando origem ao planeamento da aquisição que deverá prever antecipadamente os volumes de informação a recolher e os objetivos pretendidos;
2. Antecipar os fins e os meios: devem aqui ser identificados os fins e produtos derivados para o processo de aquisição de dados, e verificar a necessidade de recursos, antecipando a disponibilidade de fundos para aquisições de volumes de armazenamento.
3. Salvaguarda de dados RAW: os dados processados têm um contexto próprio que depende das metodologias adotadas e dos

analistas, os dados RAW são imutáveis desde o momento da aquisição e podem ser integrados em múltiplas abordagens de processamento sendo fundamental o seu armazenamento de longo período;

4. Estruturar os dados: os dados devem ser estruturados e os arquivos organizados para não se gerar uma situação de entropia dos dados, por ex. a duplicação de dados;
5. Gerar metainformação: os dados RAW e os dados processados devem ter associada metainformação que permita identificar as suas características e as dos processos associados;
6. Documentar processos de processamento: o processamento deve ser documentado de forma a permitir a sua reprodução e repetição;
7. Armazenamento em formatos abertos: no armazenamento devem ser privilegiados os formatos abertos garantindo a interoperabilidade e a portabilidade;
8. Identificação, integridade e origem: os conjuntos de dados devem ser identificados através de identificadores únicos (e.g. *Digital Object Identifiers* (DOI)),;
9. Esquemas de *backup* e preservação: deve ser prevista a periodicidade dos *backups* de dados e a preservação em formatos *offline* de dados *raw* não são utilizados.
10. Seleção do local de arquivo: o armazenamento com tecnologias *cloud* apresenta a grande vantagem da redução dos custos associados à gestão de grandes volumes de dados (assegurado pelo prestador do serviço). A Política de Dados deve definir as formas de armazenamento e localização dos dados.

Tendo em conta a *framework* apresentada considera-se que o desafio de armazenamento e gestão dos grandes volumes de dados adquiridos poderá ser resolvido recorrendo a estratégias de partilha de custos, através da partilha de dados *raw* que embora adquiridos por uma instituição possam ser utilizados por terceiros, garantindo a equidade na partilha de benefícios e transparência através da identificação dos contribuidores em todo ciclo de vida dos dados. Assim, considera-se que o armazenamento de dados RAW associados diretamente a produtos da instituição devem ser preservados internamente e os dados com potencial científico, mas cuja exploração pode ser feita por terceiros, devem ser armazenados em infraestruturas federadas na *cloud* salvaguardando-se que os dados aí presentes apresentam formatos abertos, possuem metainformação, identificadores, chaves que garantam a integridade e a identificação da origem. Paralelamente, considera-se que é importante investir na capacitação de recursos humanos em *data science* para diminuir os custos associados às tarefas de processamento, e de preparação dos dados.

5. CONSIDERACÇÕES FINAIS

A evolução tecnológica veio trazer capacidades de aquisição de dados com que até então apenas poderíamos sonhar. Estes dados apresentam um valor científico gerador de conhecimento que não é possível de quantificar no momento porque a capacidade de processamento e metodologias de análise de dados são campos do conhecimento em rápida evolução. Assim, a única certeza é os dados do hoje serem a fonte de conhecimento do amanhã, e de nada nos serve os gastos de milhares de euros diários na aquisição de dados sem a garantia da capacidade de armazenamento para esses mesmos dados. Os custos de armazenamento são extremamente elevados nos dias de hoje, mas o custo da manutenção e de armazenamento é na ordem de 1/100[1] relativamente aos custos da obtenção de dados

Existe intenção da União Europeia (EU) investir na economia dos dados e nos princípios de partilha de recursos e custos, a ESD identifica a necessidade de serem estabelecidos mecanismos de financiamento para sustentar a crescente oferta e procura de dados.

Considerou-se aqui um modelo para dar resposta aos desafios associados ao armazenamento de grandes volumes de dados e à necessária mudança de abordagem para balancear as necessidades internas das organizações e a mudança do contexto externo.

REFERÊNCIAS

COMMISSION, E. (2020). "Summary report of the public consultation on the European strategy for data." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/summary-report-public-consultation-european-strategy-data.

E. M. Hart , P. Barmby, D. LeBauer, F. Michonneau, S. Mount, P. Mulrooney, T. Poisot, Kara H. Woo, Naupaka B. Zimmerman and J. W. Hollister (2016). "Ten Simple Rules for Digital Data Storage." PLOS Computational Biology.

EUROPEAN COMMISSION. (2020a). "European data strategy, Making the EU a role model for a society empowered by data." Acedido em setembro, 2020, no endereço https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-data-strategy.

EUROPEAN COMMISSION (2020b). A European strategy for data. **COM/2020/66 final**.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2019). Open data and the re-use of public sector information. **DIRECTIVE (EU) 2019/1024**.

USGS (2014). The United States Geological Survey Science Data Lifecycle Model.

[1] Considerando um dia de navio, gerando 100 Gb dados, e a sua manutenção por 30 anos (1 pessoa e equipamentos)

Índice de autores

A
Abreu, T. 65
Afonso, D. 434
Almada, F. 408
Almeida, J. 350
Almeida, S. 215, 426, 438, 446, 450
Alves, J. M. R. 199
Alves, M. 215, 450
Amado, M. 336
Amorim, A. 247, 273
Andriolo, U. 400
Antunes, L. 25
Avilez-Valente, P. 175, 195
Azevedo, A. 203
Azevedo, E. B. 376
Azevedo, I. C. 380

B
Baptista, M. A. 195
Baptista, P. 65, 231, 400
Barbosa, A. B. 346
Barrera, C. 159
Bartolomeu, S. 179
Bastos, L. 175
Bernardes, A. 111
Bernárdez, P. 45
Berrocoso, M. 81
Bica, V. 422
Biguino, B. 239, 255
Bio, A. 175, 380
Borges, C. 243, 247, 255, 358, 426
Borges, D. 380
Brardo, M. 430
Brito, A. 239, 243, 247, 251, 255, 350, 408
Brotas, V. 239, 243, 247, 251, 408
Bué, I. 61, 191

C
Cabarcas, A. 85
Cabrita, P. 97
Caetano, M. 422
Caetano, S. 346
Caldeira, R. 199
Campuzano, F. 408
Canelas, S. T. 235
Capitão, R. 187
Cardoso, I. 239
Carinhas, D. 211
Carrasco, A. R. 336
Carvalho, P. 93
Cascalho, J. 292
Castellanos, P. 408
Catalão, J. 61, 191
Cavalinhos, R. 57
Cereja, R. 255
Chainho, P. 247
Chambel, J. 223
Chambel, P. 223
Colaço, G. 219
Conceição, V. 125, 384, 434
Contreras, A. 69
Contreras, F. 73
Cordero, J. M. 53
Correia, A. 125, 434
Correia, C. 346
Correia, R. 57
Costa, C. 171
Costa, J. L. 408
Costa, P. 332
Costa, P. R. 408
Costas, S. 280
Cravo, A. 346
Cruz, J. 239, 247, 255

D
Dâmaso-Rodrigues, M. L. 247
Delpuppo, D. 219
Deus, R. 408
Dias, T. 49, 119, 418, 458
Diniz, F. 151
Dobrynin, M. 163
Dogliotti, A. 239
Dominguez-Carrió,C. 284
Duarte, J. 292, 332

E
Elvira, E. 103
Espinosa, S. 392
Esteves, R. 450

F
Fariña, A. 41
Favareto, L. R. 247, 251
Félix, P. 247, 350
Fernandes, A. F. 292, 304
Fernandes, C. S. 155, 408
Fernandes, M. J. 408
Fernández-Ros, A. 414

Ferreira, A. 243, 251
Ferreira, A. M. 97, 296
Ferreira, O. 97, 280
Ferreira, S. 422
Fonseca, A. 251
Fonseca, A. 422
Fortes, C. J. E. M. 97, 129, 183, 187, 231, 296, 376, 388, 396
Fortes, J. 219
Fortunato, A. B. 203, 288
Freire, P. 97, 203, 288, 316, 320
Freitas, T. 219
Furtado, D. 422

G

Gallo, M. 219
Garzon, J. L. 296
Godinho, S. 454
Godinho, V. 408
Gomes, A. L. 422
Gomes, M. 251, 255
Gonçalves, E. 408
Gonçalves, J. A. 380
González, C. J. 45
Grosso, N. 215
Guerreiro, R. 215

H

Hemer, M. 167
Heumüller, J. 239, 255

I

Iglesias, I. 175
Infante, P. 211

J

Jacob, J. 346
Jesus, G. 203
Jigena, B. 69, 73, 81, 85

K

Kastrisios, C. 53
Kerpen, N. B. 388
Kombiadou, K. 366

L

Lamas, L. 151, 159
Lapa, N. 308, 328, 332
Leitão, J. C. 179
Leitão, P. C. 179
Lemos, G. 163, 167
Lemos, R. 388
Lévano, F. 81
Lillebø, A. L. 57
Lima, V. 155, 195
Luz, C. 276, 442

M

Madeira, F. 215
Magalhaes, J. M. 135, 139
Marques, A. 25
Marques, C. 49, 93, 458
Marques, M. 25
Marques, R. 125
Martín, D. 103
Martinho, A. 211
Martins, A. 408
Martins, I. 151, 159, 450
Mateus, A. 151
Matos, A. 346
Medeiro, A. 111
Melo, R. 426, 442
Melo, W. 175
Menendez, M. 163, 167
Miranda, J. M. 195
Miranda, P. 163, 167
Miranda, P. M. A. 199
Monteiro, C. 49, 107
Morato, T. 284
Moreira, S. 265, 308, 312
Mosqueira, M. 454
Moura, A. 115
Moura, R. 227, 434
Moura, T. 223
Muñoz, A. 103
Muñoz, J. J. 69, 73, 81
Morgado, V. 342

N

Nahon, A. 203
Nascimento, A. 251
Nepomuceno, G. 384
Neves, M. G. 143, 187
Neves, R. 408
Nobre, A. 446, 454
Nunes, A. 372
Nunes, P. 25, 426, 438, 446, 454, 458
Nunes, S. 408

O

Oliveira, Ana 408
Oliveira, Anabela 203, 408
Oliveira, Anabela T. C. 139, 269, 273, 276

Oliveira, F. S. B. F. 143, 147, 203, 231, 288, 316
Oliveira, J. N. C. 143, 147, 203, 316
Oliveira, P. B. 135, 139, 273
Otálora, N. 69, 73
Oviedo, K. 69, 73

P

Pablo, H. 408
Pais-Barbosa, J. 400
Palma, C. 243, 247, 251, 255, 276, 342, 350, 354, 358, 362, 366
Parente, C. 219
Pascoal, A. 408
Pascual, L. 103
Patrício, P. 422
Peçanha, A. 49
Pérez, I. 103
Pinheiro, L. M. 57
Pinheiro, L. 129, 183, 187, 219, 235, 376, 396
Pinho, J. L. 175
Pinto, I. S. 380
Pinto, J. P. 215, 408
Pires, A. C. 135, 139
Plecha, S. M. 207
Pombo, J. 265, 269, 276, 304
Portela, L. I. 300, 324

Q

Quartau, R. 265, 284, 312, 404
Quispe, C. 81

R

Ramos, R. J. 45
Rato, D. 292, 304
Reis, A. R. 115
Reis, F. V. 376
Reis, M. T. 296, 376
Rey, W. 81, 85
Ribeiro, H. 111
Ribeiro, J. 223
Ribeiro, M. 304
Rico, M. 354
Rilo, A. 320
Rocha, A. C. 362, 366
Rodrigues, A. 261, 265, 269, 304, 308, 312, 328, 442
Rodrigues, J. 179
Rodrigues, L. 284
Rodrigues, M. 408
Roebeling, P. 231
Rogeiro, J. 203
Romão, S. 292, 304
Romero, J. 81
Rosa, P. 57
Roscher, N. 49
Rudorff, N. M. 251

S

Sá, C. 239, 251, 255
Salvador, M. 376
Sanches, P. 107, 115, 119
Sancho, F. 89, 231, 235, 400
Santos, A. I. 139, 273
Santos, D. 65
Santos, F. 400
Santos, J. A. 388
Santos, M. 247
Santos, M. I. 129, 376
Santos, P. 366
Santos, R. 269, 276, 284, 312, 354, 404
Santos, T. 354
Saraiva, S. 438
Saramago, A. 442
Semedo, A. 61, 163, 167, 191
Sent, G. 239, 255
Serrazina, V. 376
Serronha, A. 422
Severino, R. 179
Silva, A. 223
Silva, C. S. 227
Silva, H. 422
Silva, J. C. B. da 135
Silva, P. 65, 203, 292, 400
Silva, R. 93
Silva, R. J. N. B. 342, 358, 362
Silva, S. 304
Soares, P. M. M. 207
Sobrinho, J. 408
Sousa, C. 77
Sousa, F. 255
Sousa, L. B. 280
Suárez, J. R. 41

T

Taborda, R. 292, 304
Taranto, G. H. 284
Tavares, A. 320
Teles, J. 446
Terrón, J. A. 392
Tomé, R. 199
Torres, A. 171
Torres, J. R. 45

Tracana, A. 251
Trigo-Teixeira, A. A. 143, 147, 235

U

V

Vasquez, F. 211
Veiga, L. 107, 418, 426, 458
Veloso, V. 247, 251
Veloso-Gomes, F. 175
Vicente, J. 49, 107, 115, 119, 418, 458
Vidal, J. 85
Vieira, J. M. 175
Vinhas, A. 261, 304, 308, 312, 328
Vitorino, J. 159, 450

W

X

Y

Z

Zacarias, N. 151, 273
Zêzere, J. L. 320
Zhao, Z. 265
Zózimo, A. C. 129, 183, 376

Instituto Hidrográfico
Rua das Trinas, 49 – 1249-093 Lisboa – Portugal
Tel.: +351 210 943 000
mail@hidrografico.pt
www.hidrografico.pt

Imagem: Modelo batimétrico das estruturas próximas do monte submarino Gigante, inseridas na Crista Média Atlântica – Arquipélago dos Açores.

ORGANIZAÇÃO

hidrográfico marinha·portugal

60 ANOS DE CONHECIMENTO DO OCEANO

MAGALHAES

APOIOS

KONGSBERG

deimos elecnor group

qualitas instruments

MRA GRUPO ÁLAVA

TELEDYNE CARIS Everywhereyoulook

vórtice

HautRadar

esri Portugal

AQUIMAR MARINE KNOWLEDGE SUPPORTING AQUACULTURE

SAGA

COFINANCIADO POR:

mar 2020 PROGRAMA OPERACIONAL MAR 2020

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu dos Assuntos Marítimos e das Pescas