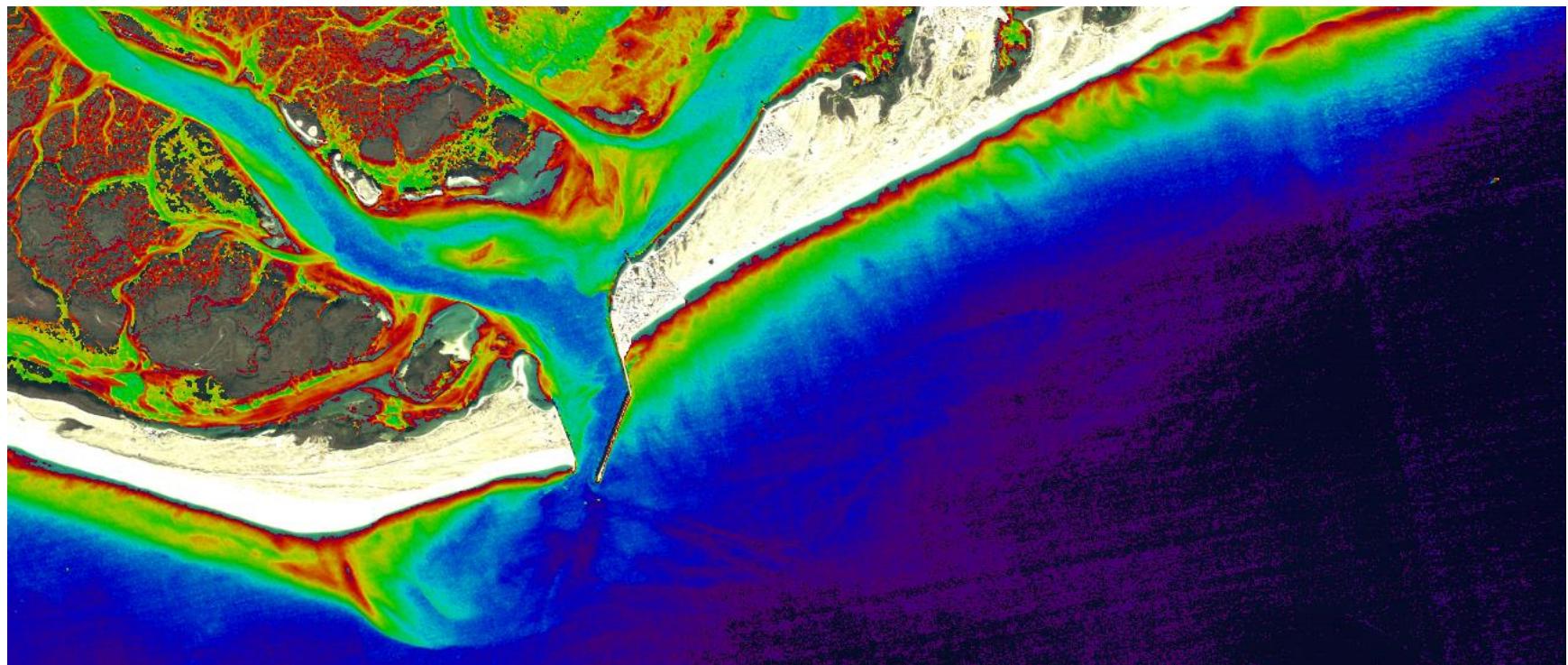




A utilização de Imagens de Satélite Multiespectrais de Elevada Resolução Espacial para a Derivação de Batimetria

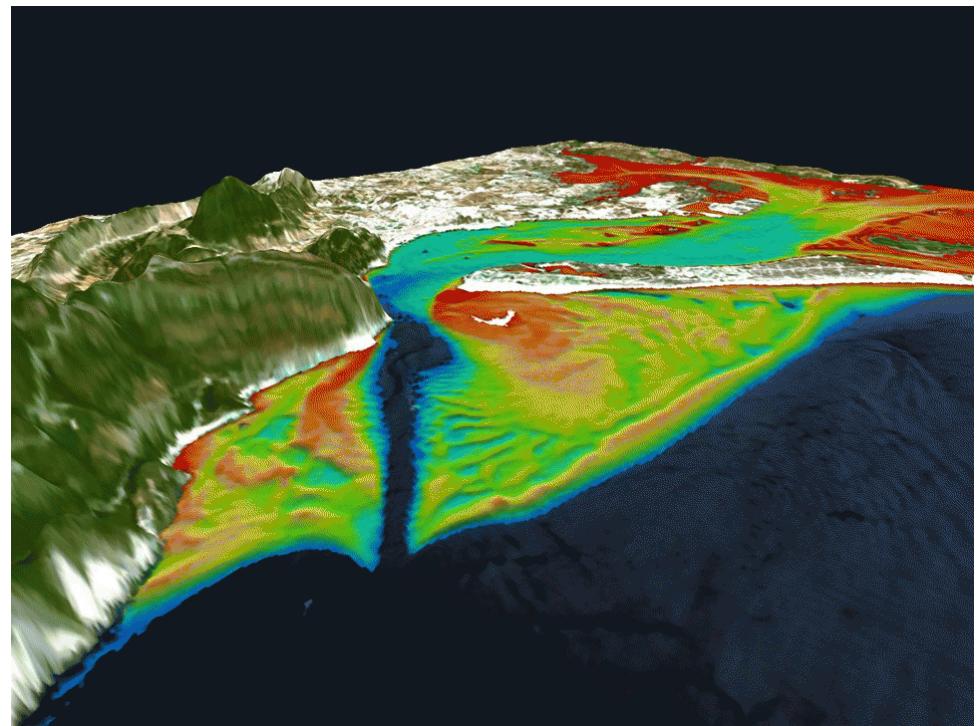


Rui Guerreiro (xavier.guerreiro@hidrografico.pt)

Ana Moura (ana.moura@hidrografico.pt)

Agenda

- Introdução
- Objetivo
- Metodologia
- Casos de estudo
- Conclusões



Introdução - Como chegamos até aqui?



Introdução - Técnicas de derivação de batimetria por satélite

Radar

Altimetria da superfície do oceano

Grandes estruturas submersas como montes ou canhões submarinos provocam alterações no campo gravítico da terra.

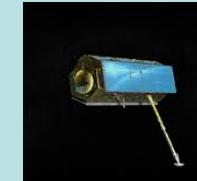


CryoSat-2

Jason-2

Estudo do campo de ondas

Observação do comportamento de processos hidrodinâmicos que são influenciados por estruturas submersas.

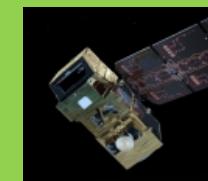


TerraSAR-X

Sentinel 1A

Atenuação da luz solar na água

A luz solar é capaz de penetrar na água, percorrer a coluna de água até ao fundo marinho e voltar à superfície por reflexão.



Landsat 8

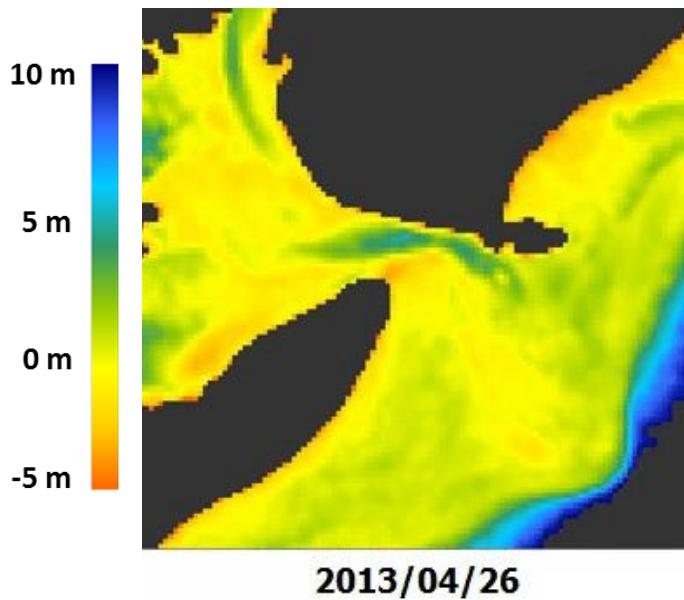
Sentinel 2A

Imagens
Multiespectrais

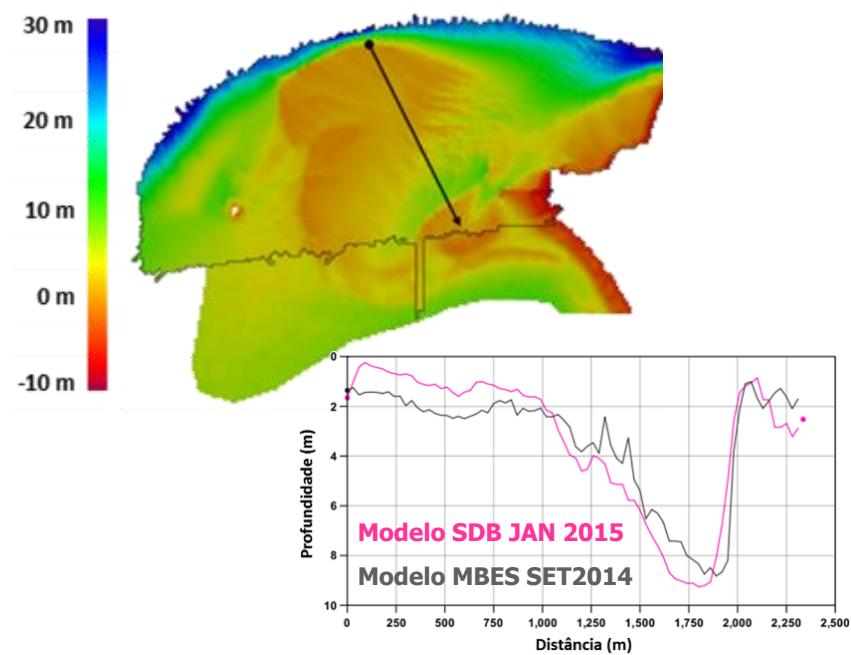
Conhecer o mar para que todos o possam usar

Introdução - Experiência nas metodologias SDB com Imagens Multiespectrais Landsat 8

Séries Temporais
Barra da Armona



Comparação modelos batimétricos SDB - MBES
Golada do Bugio



Guerreiro, R., e Moura A. (2015) Aplicação de uma Metodologia de Derivação de Batimetria a partir de Imagens de Satélite. VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa, 29-30 outubro.

Objetivo do Estudo

Existindo no IH conhecimento adquirido na aplicação de uma metodologia SDB a imagens do satélite Landsat 8 (LS8), pretendeu-se adapta-la:

- À utilização de imagens do satélite Sentinel 2A, disponibilizadas no âmbito do Programa Copernicus;
- À utilização de imagens do satélite Kompsat-3, cedidas (por oportunidade) pela SI Imaging Services.

Como objetivo final avaliaram-se:

- As mais-valias e constrangimentos resultantes da aplicação da metodologia já desenvolvida às novas imagens;
- Resultados por pares Sentinel 2A – Landsat 8 e Kompsat-3 – Landsat 8, confrontando-os com um Modelo Batimétrico obtido por um Levantamento Hidrográfico “tradicional” (MBES).

Metodologia - Pressupostos para obter batimetria por imagens multiespectrais

- ✓ Capacidade da luz solar em penetrar na água, percorrer a coluna de água até ao fundo marinho e voltar à superfície por reflexão.
- ✓ Ocorre entre os 350 nm (ultra violeta) e os 700 nm (vermelho) em função das características e profundidade da coluna de água.
- ✓ Acima dos 550 nm (verde) é pouca a radiação solar que ultrapassa a dezena de metros.

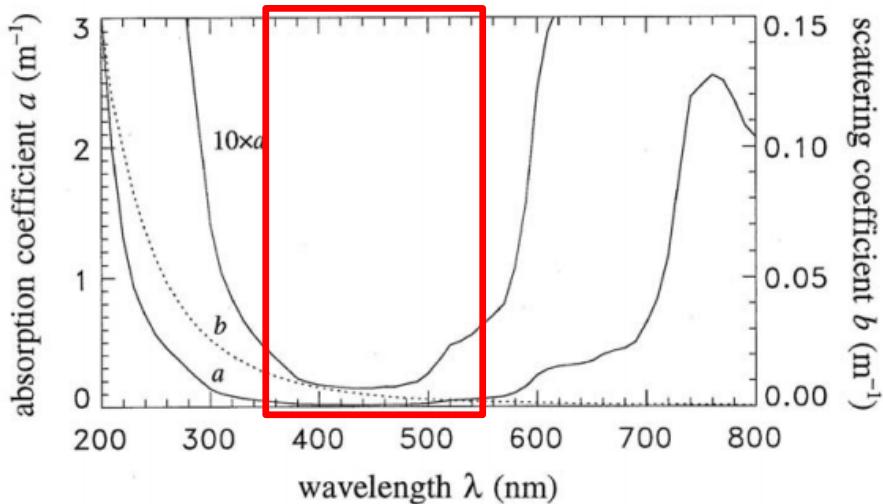


Fig. 3.6. Absorption (solid line) and scattering (dotted line) coefficients for pure sea water, as determined by Smith and Baker (1981).

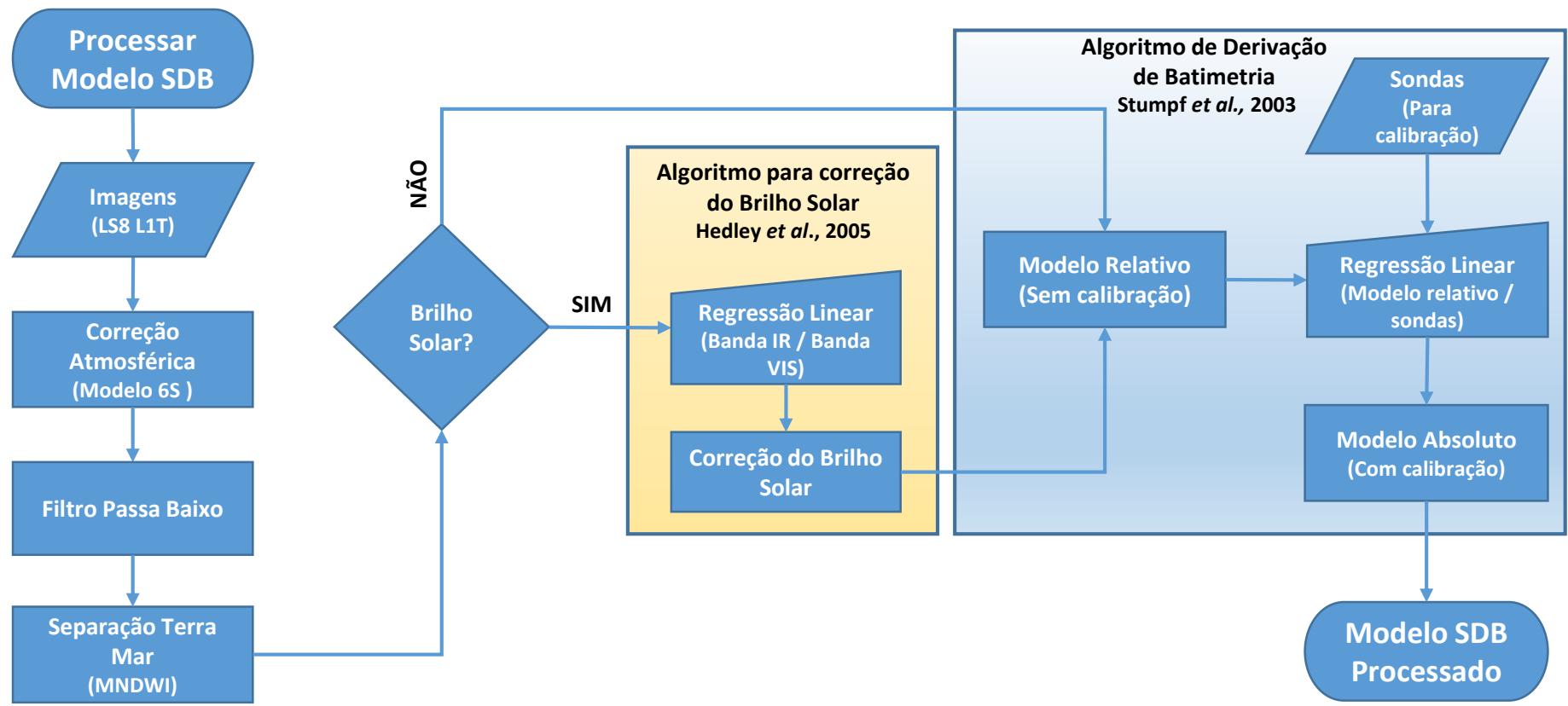
Fonte - Mobley, C.D. (1994). Light and Water – Radiative transfer in Natural Waters. Academic Press.

Metodologia - Características das Imagens Utilizadas

Satélite (sensor)	Bandas	Resolução Espectral (nm)	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	
Landsat 8 (OLI)	2 - Blue	450 - 510	30 m	16 dias	16 bits	
	3 - Green	530 - 590				
	5 - NIR	850 - 880				
Sentinel 2A (MSI)	2 - Blue	490 (65)	10 m	10 dias	12 bits	
	3 - Green	560 (35)		(5 dias com Sentinel 2B)		
	8 - NIR	842 (115)				
Kompsat 3 (AEISS)	1 - Blue	450 - 520	2,8 m (8,44 m a 45º off-nadir)	28 dias	14 bits	
	2 - Green	520 – 600		(1,4 dias revisita a 45º off-nadir)		
	4 - NIR	760 – 900				

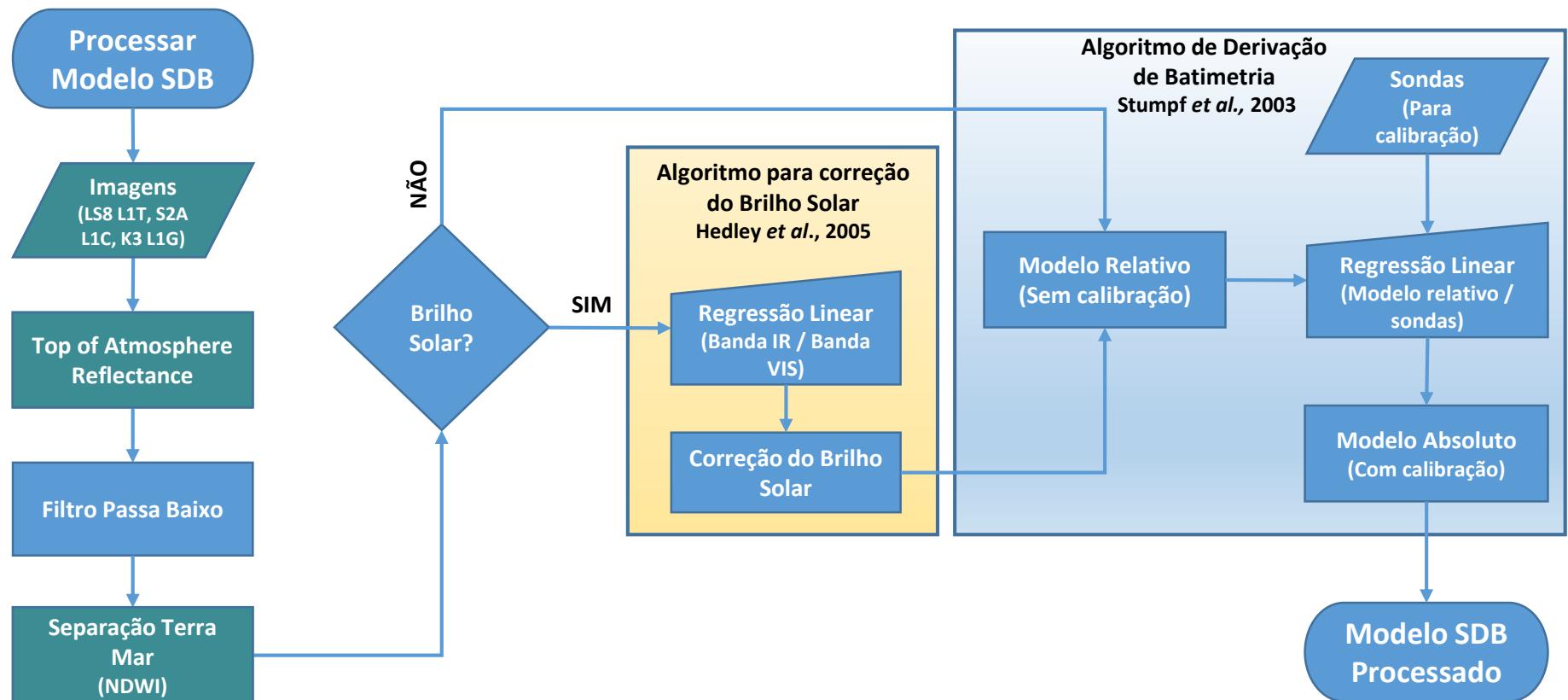
Utilizaram-se as bandas com melhor resolução espacial e resolução espectral semelhante, para comparar performance dos diferentes sensores.

Metodologia - O Legado do Modelo de Processamento



$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$

Metodologia - A Atualização do Modelo de Processamento



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

Metodologia - Calculo da *Top of Atmosphere Reflectance (TOA)*

Landsat 8 (L1T):

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} \times DN + A_{\rho}$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})}$$

Sentinel 2A (L1C):

$$\rho_{\lambda} = \frac{DN}{QVALUE}$$

Kompsat 3 (L1G):

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Offset$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \sin(\theta_{SE})}$$

L_{λ} = TOA Radiance

ρ_{λ} = TOA Reflectance

θ_{SE} = Ângulo de Elevação Solar

$\rho_{\lambda'}$ = TOA Reflectance without θ_{SE} correction

DN = Digital Number (pixel)

QVALUE = Quantification Value

M_{ρ} = Multiplicative Rescaling Factor

A_{ρ} = Additive Rescaling Factor

$ESUN_{\lambda}$ = Mean Solar Exoatmospheric Irradiances

d = earth - sun distance (astronomical unit)

Parâmetros fornecidos nos metadados e manuais de utilização das imagens

Metodologia - Correção do brilho solar - Hedley et al. (2005)

$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - \text{Min}_{NIR})$$

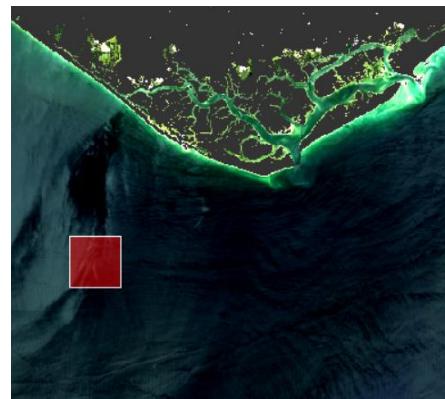
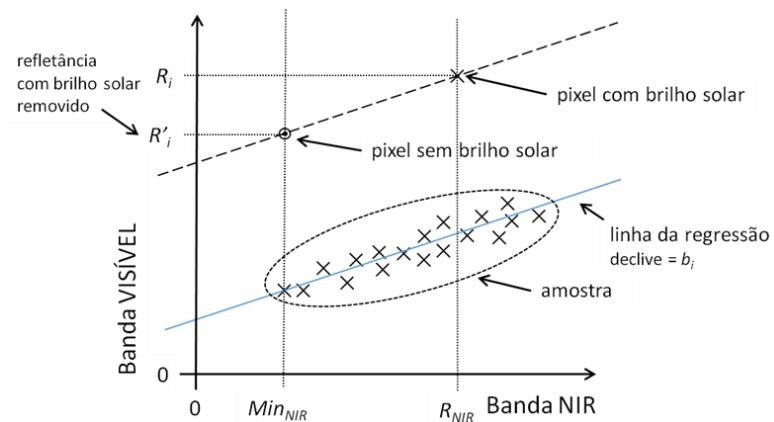
R'_i - valor do pixel corrigido na banda VISÍVEL

R_i - valor original do pixel na banda VISÍVEL

b_i - declive da reta de regressão linear

R_{NIR} - valor do pixel original na banda NIR

Min_{NIR} - pixel de valor mínimo na banda NIR



Composição RGB sem
Correção Brilho



Composição RGB com
Correção Brilho

Metodologia - O algoritmo de derivação de batimetria - Stumpf *et al.* (2003)

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0$$

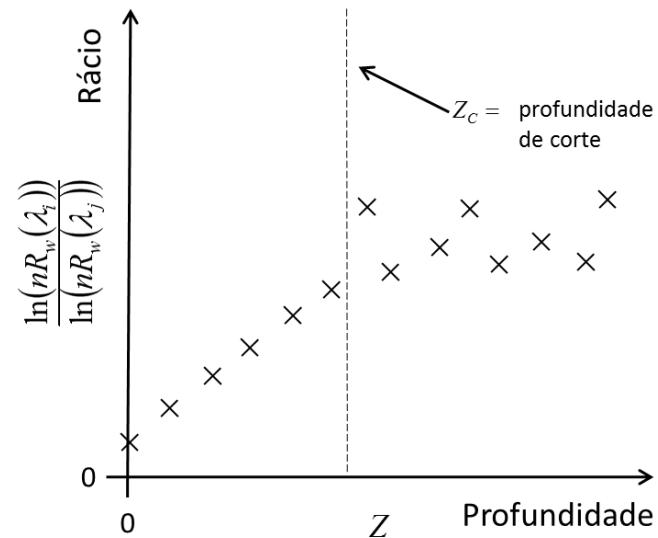
m_1 - fator de ganho determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

n - constante que garante que os logaritmos naturais sejam sempre positivos e que o rácio produza uma resposta linear com a profundidade.

$R_w(\lambda_i)$ e **$R_w(\lambda_j)$** - reflectância nos comprimento de onda i e j respetivamente.

m_0 - offset determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

Determinação profundidade corte (Z_C)



Z_C é a profundidade até onde os pressupostos são cumpridos

Metodologia - O algoritmo de derivação de batimetria - Stumpf *et al.* (2003)

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0$$

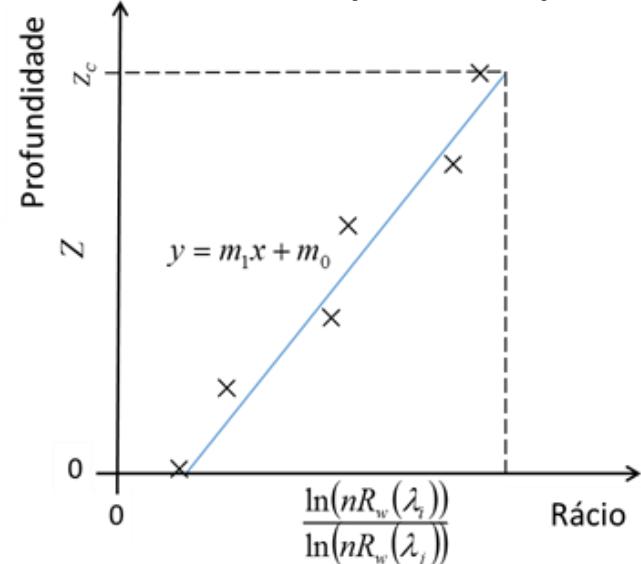
m_1 - fator de ganho determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

n - constante que garante que os logaritmos naturais sejam sempre positivos e que o rácio produza uma resposta linear com a profundidade.

$R_w(\lambda_i)$ e **$R_w(\lambda_j)$** - reflectância nos comprimento de onda i e j respetivamente.

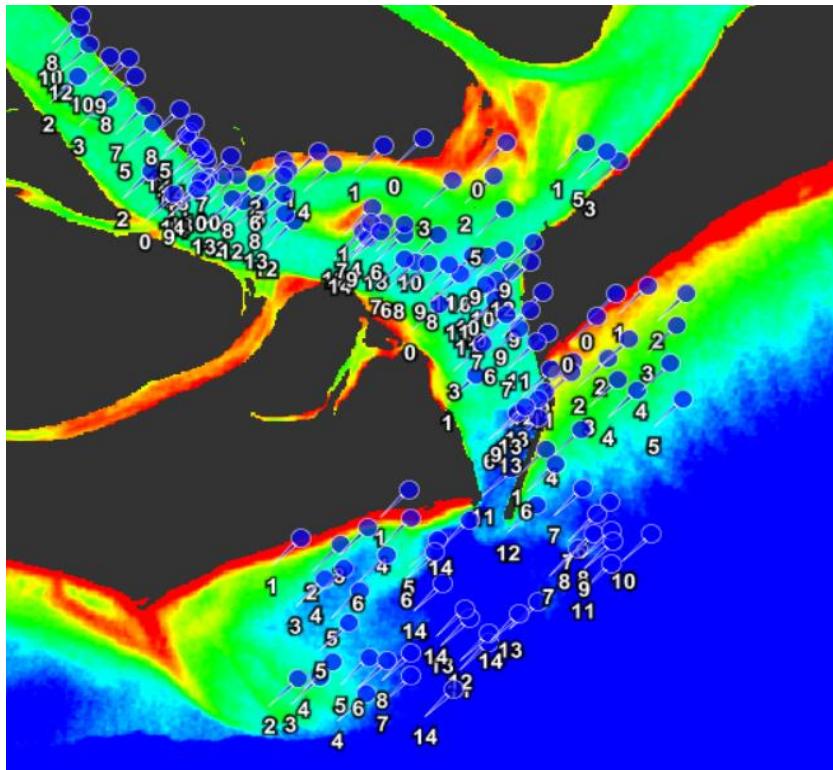
m_0 - offset determinado pela reta de regressão linear entre o rácio dos logaritmos e as profundidades de referência.

Regressão linear do rácio com as profundidades de referência (sondas LH)



Valores de m_1 e m_0 são obtidos pela reta da regressão linear

Metodologia - Calibração



160 amostras *in situ* por calibração:

10 amostras sondas 0 m

10 amostras sondas 1 m

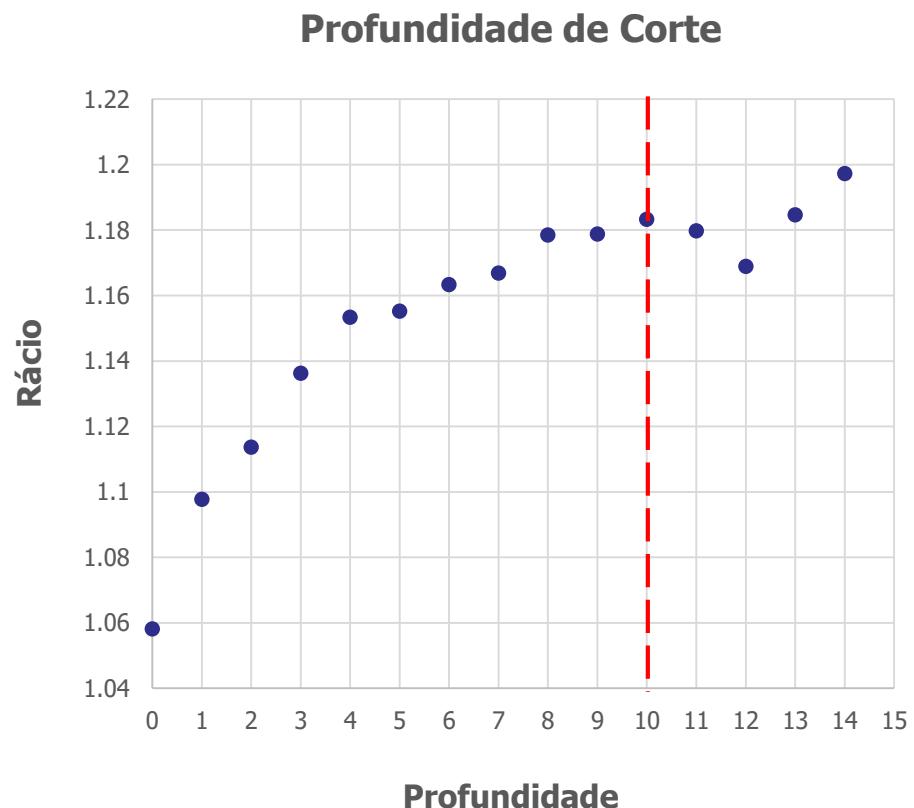
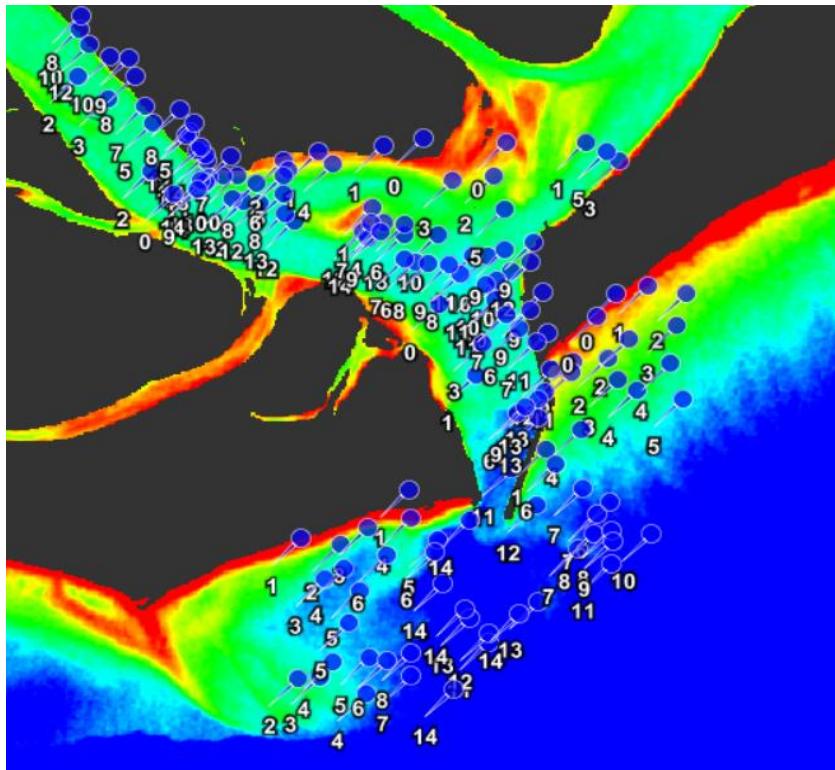
10 amostras sondas 2 m

(...)

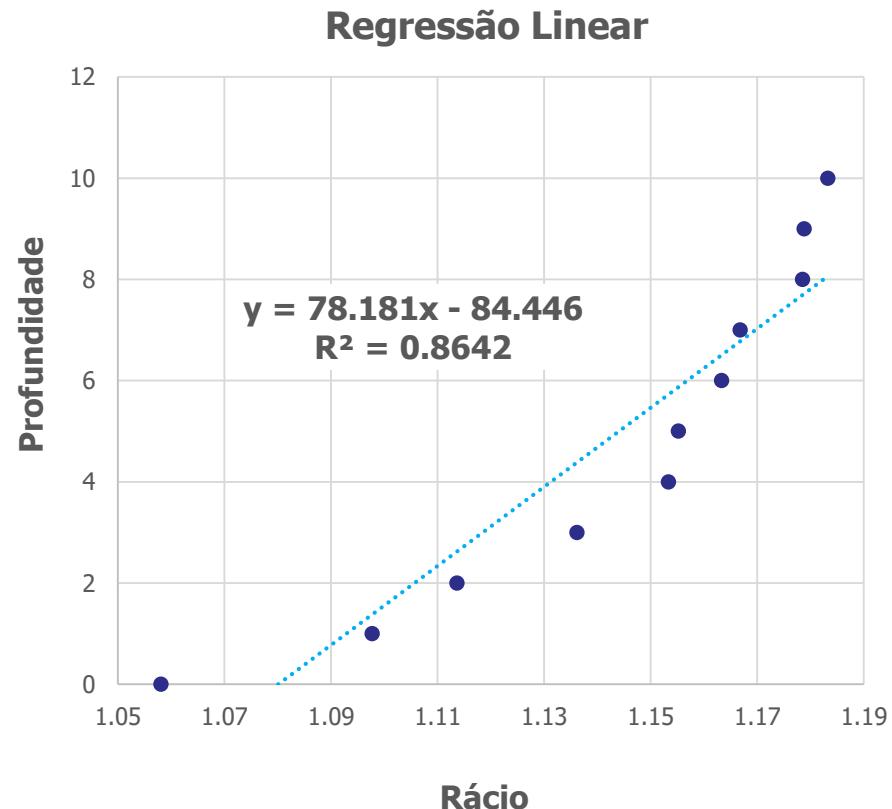
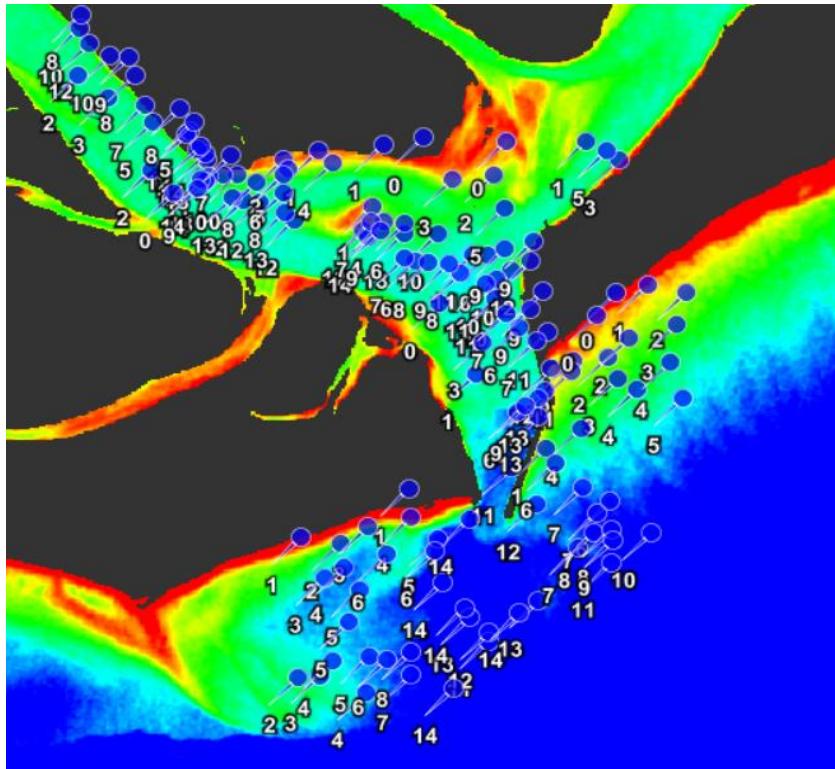
10 amostras sondas 15 m

Sondas adquiridas por um LH MBES de novembro de 2011 na barra de Faro – Olhão

Metodologia - Exemplo Calibração modelo batimétrico SDB S2A

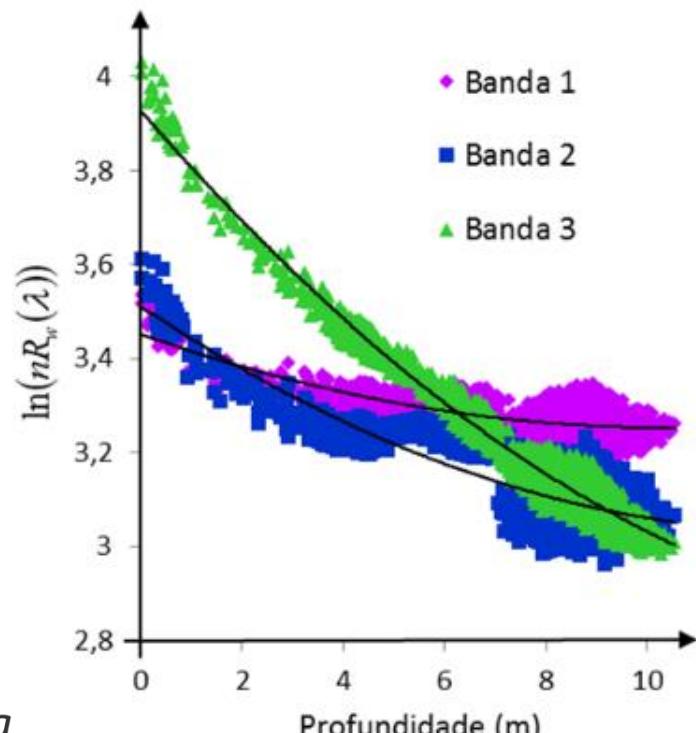


Metodologia - Exemplo Calibração modelo batimétrico SDB S2A



Comportamento dos Logaritmos das Reflectâncias nas Diferentes Bandas

Com o aumento da profundidade, a reflectância das bandas aplicadas no rácio diminui, sendo que o $\ln(nR_w(\lambda))$ da banda com maior absorção (banda 3) vai diminuir proporcionalmente mais rápido que o $\ln(nR_w(\lambda))$ da banda com menor absorção (banda 1)



Stumpf *et al.* (2003)

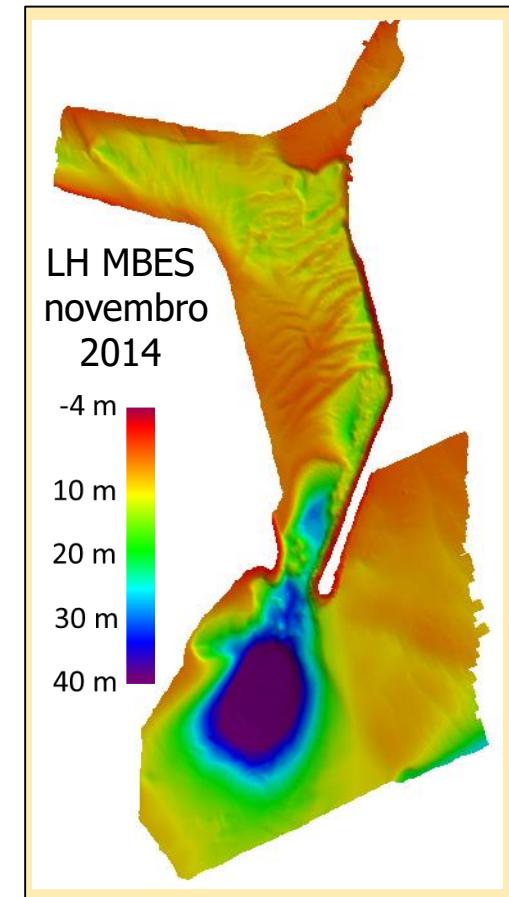
Exemplo com bandas 1 (Coastal), 2 (Blue) e 3 (Green) do Satélite Landsat 8.

Casos de Estudo - A Ria Formosa como Área de Estudo

Imagen (Nível processamento)	Data e Hora de aquisição (UTC)	Cobertura Nuvéns
LS8 (L1T)	2013/11/20 - 11h10m21s	0,62 %
K3 (L1G)	2013/11/20 - 13h52m27s	0,0 %
LS8 (L1T)	2015/11/26 - 11h08m53s	0,4 %
S2A (L1C)	2015/11/29 - 11h21m40s	0,4 %

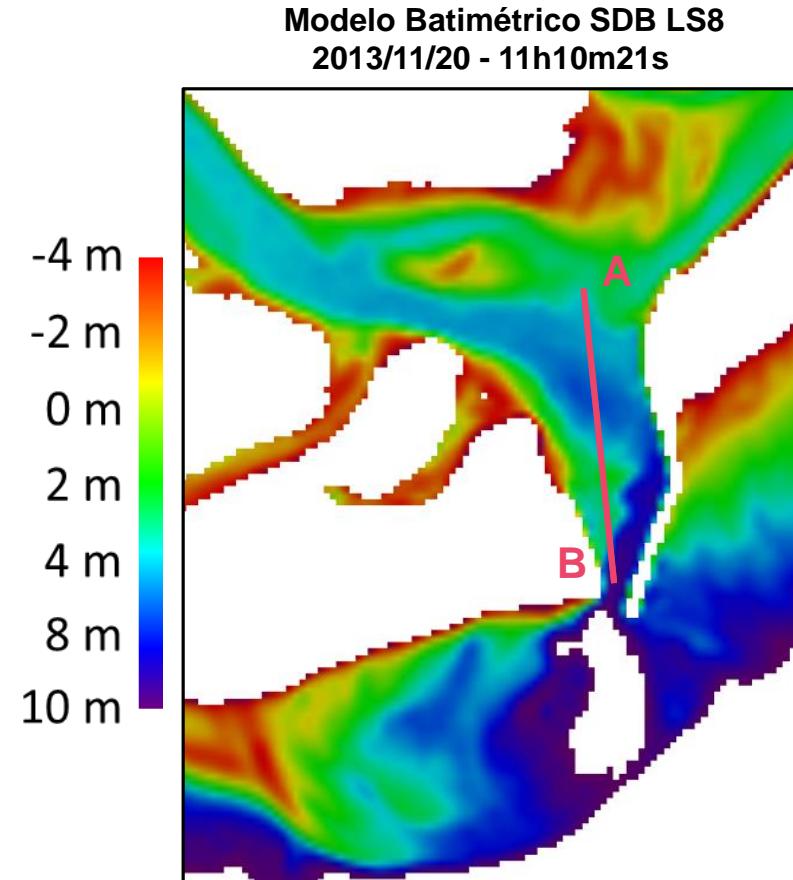
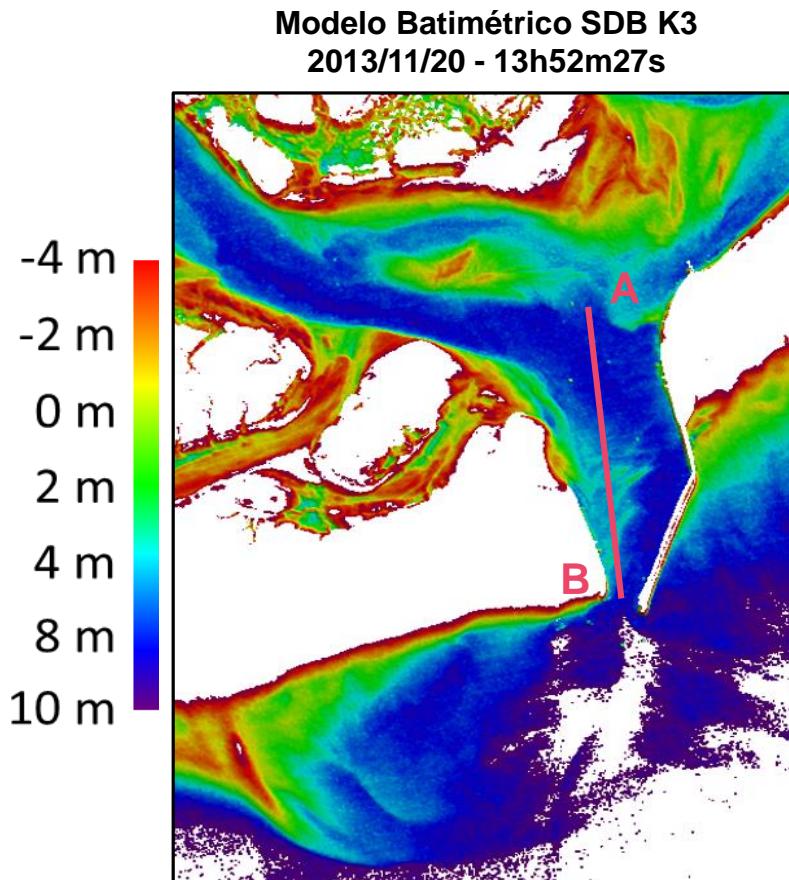


Para comparar
com os modelos
batimétricos SDB



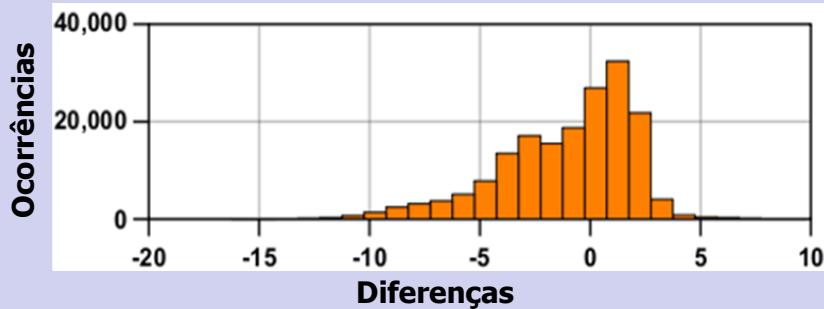
Conhecer o mar para que
todos o possam usar

Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Kompsat 3 / Landsat 8

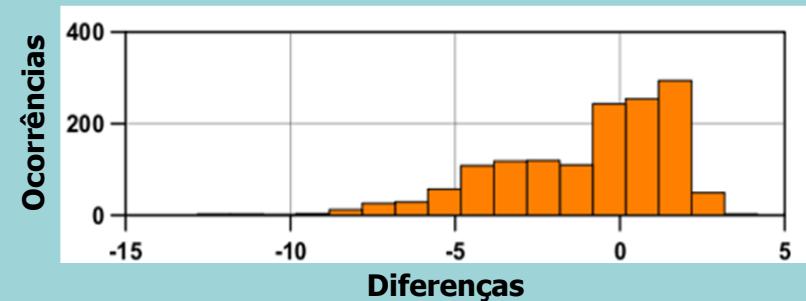


Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Komsat 3 / Landsat 8

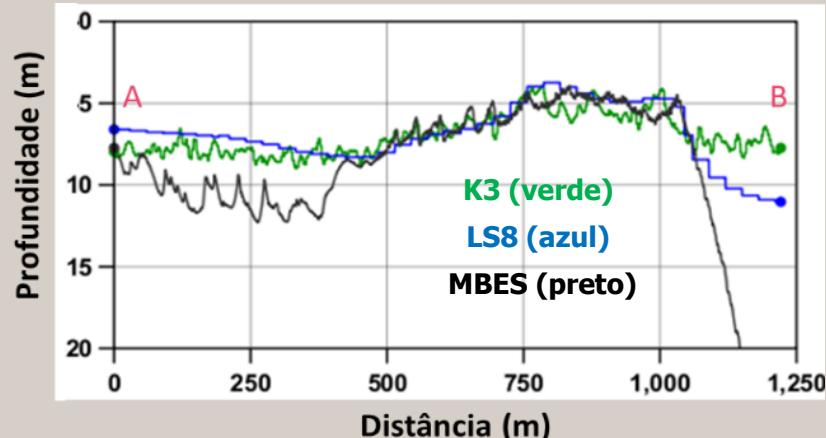
**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB
K3 – MBES**



**Diferenças entre os modelos batimétricos SDB
LS8 – MBES**

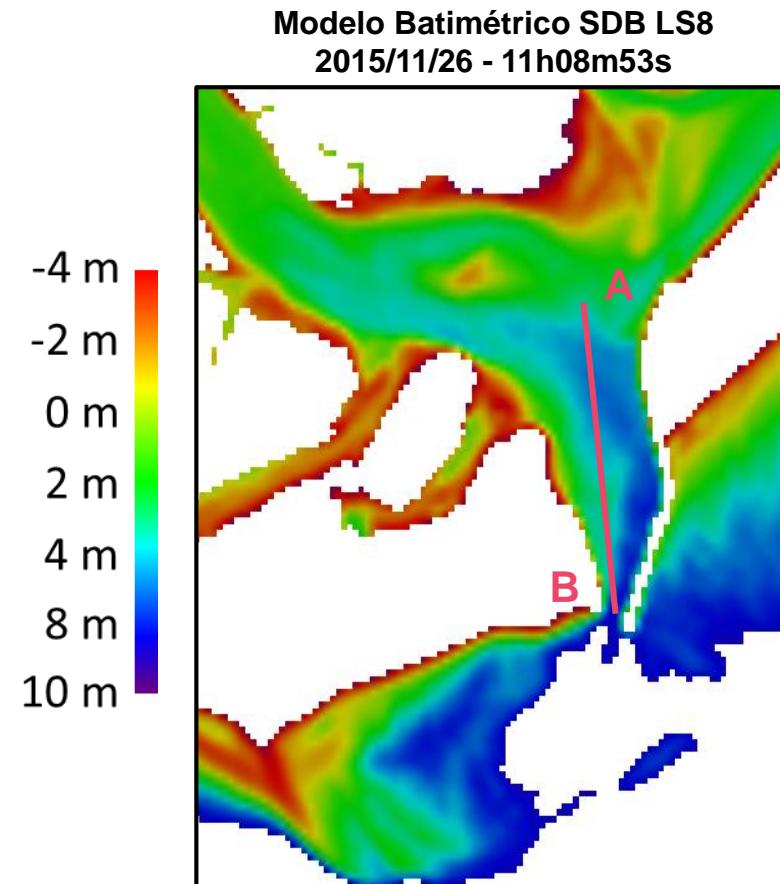
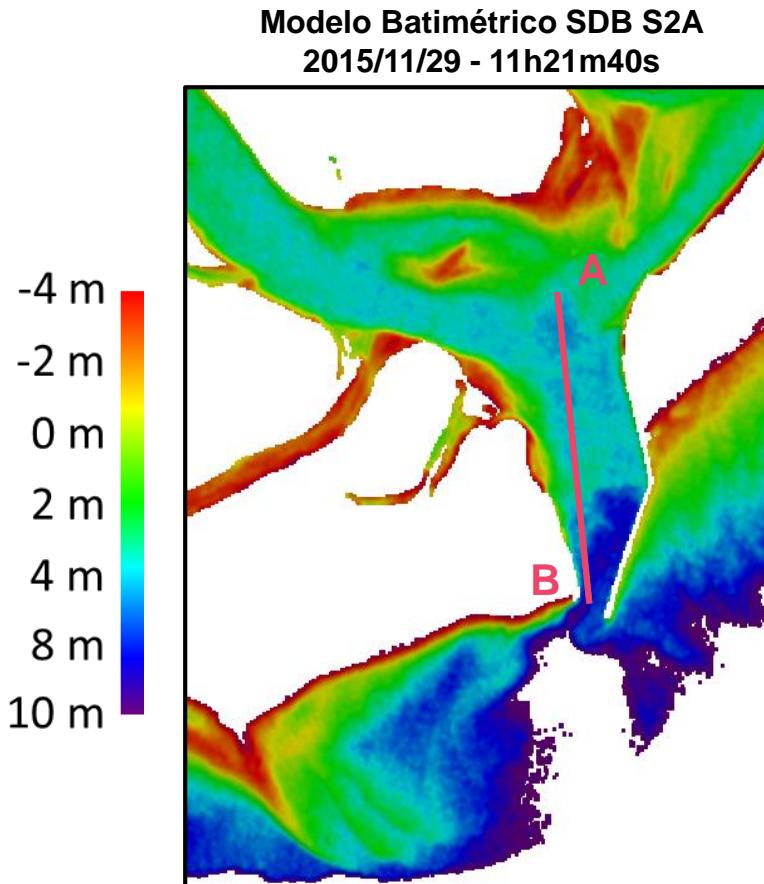


Perfil vertical dos modelos batimétricos

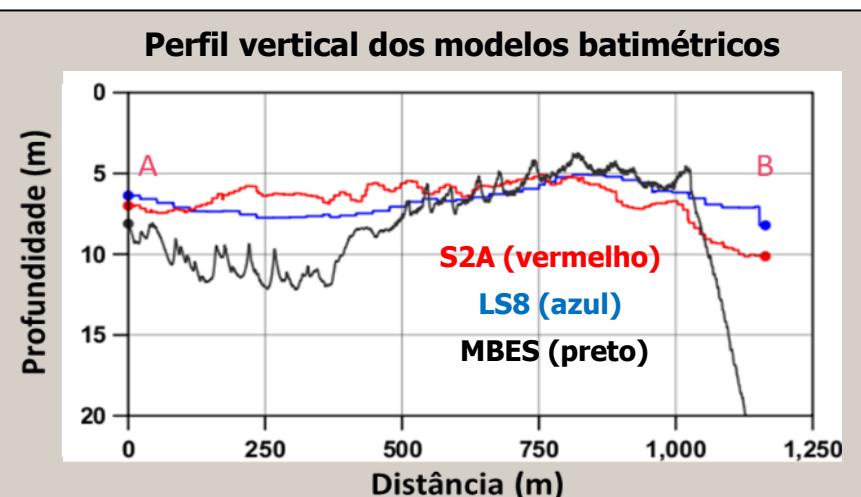
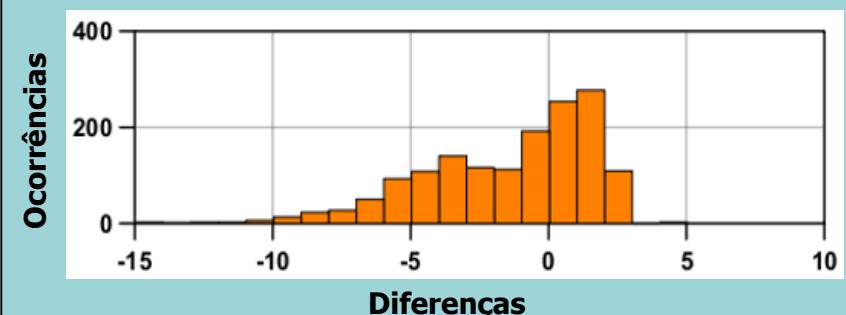
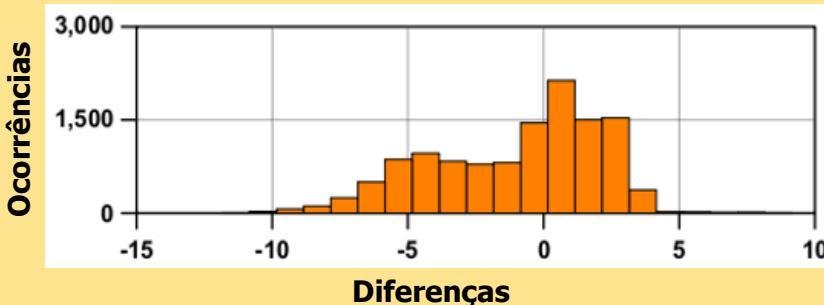


Conhecer o mar para que todos o possam usar

Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Sentinel 2A / Landsat 8

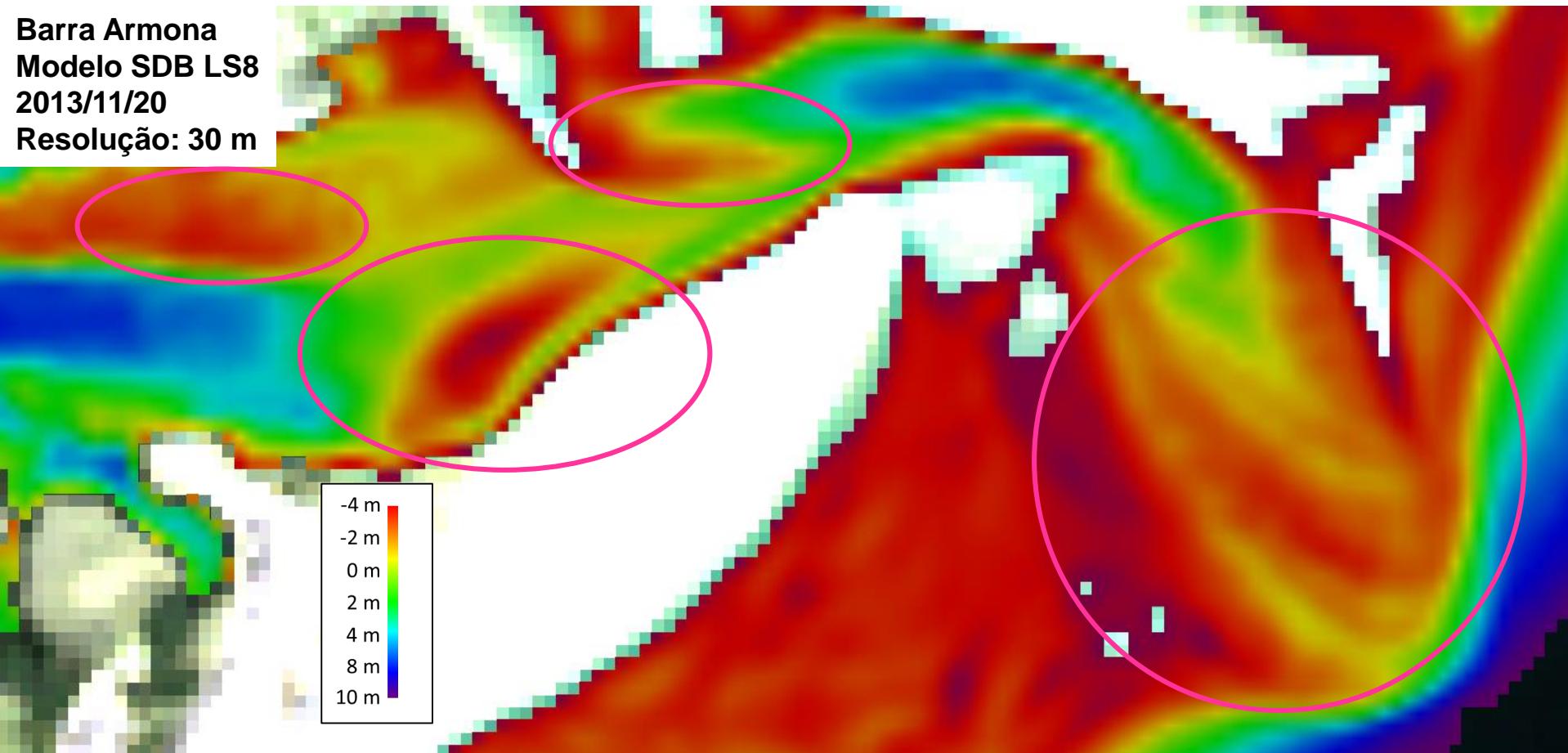


Casos de Estudo: Comparação do par de imagens Kompsat 3 / Landsat 8



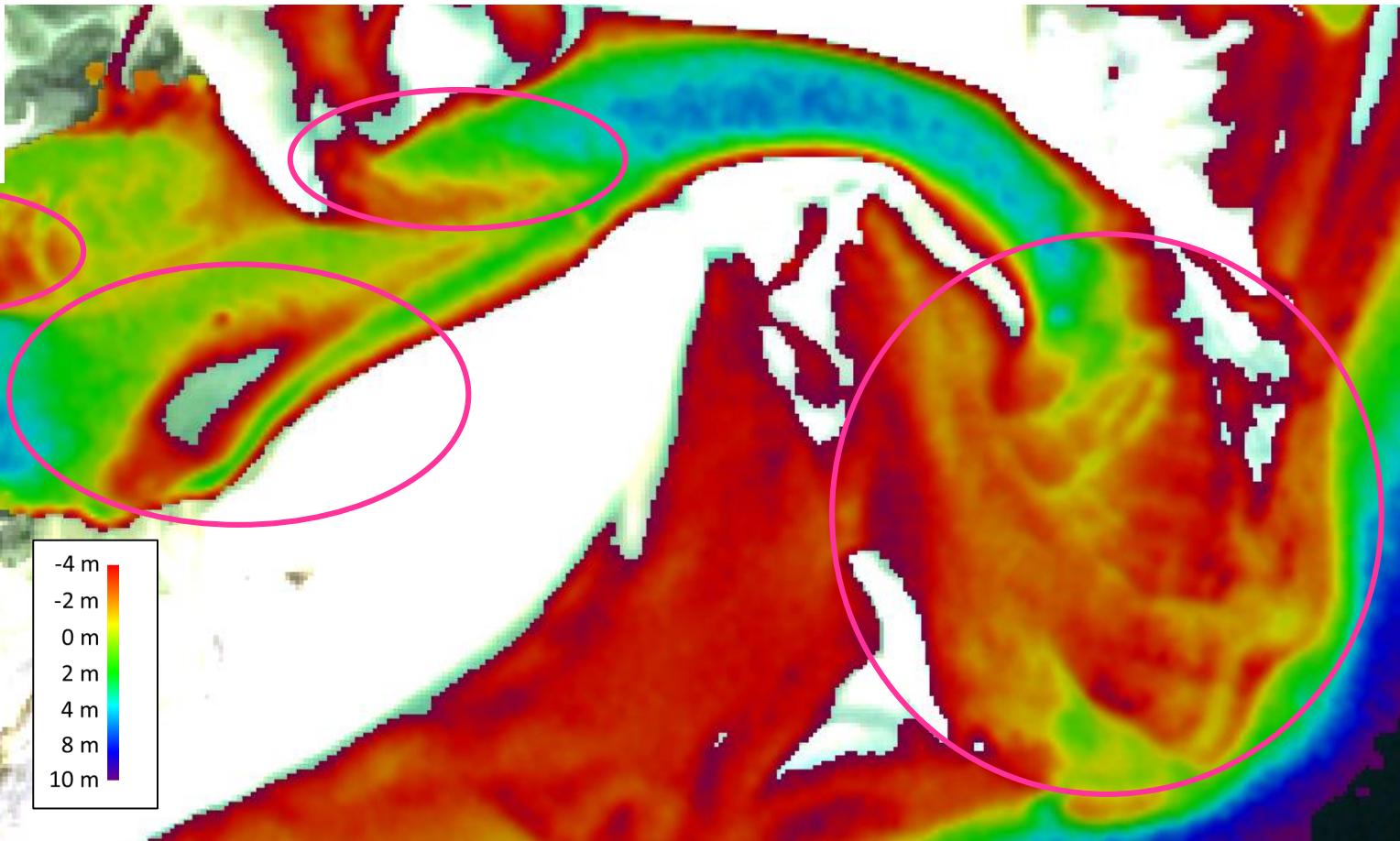
Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Landsat 8

Barra Armona
Modelo SDB LS8
2013/11/20
Resolução: 30 m



Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Sentinel 2A

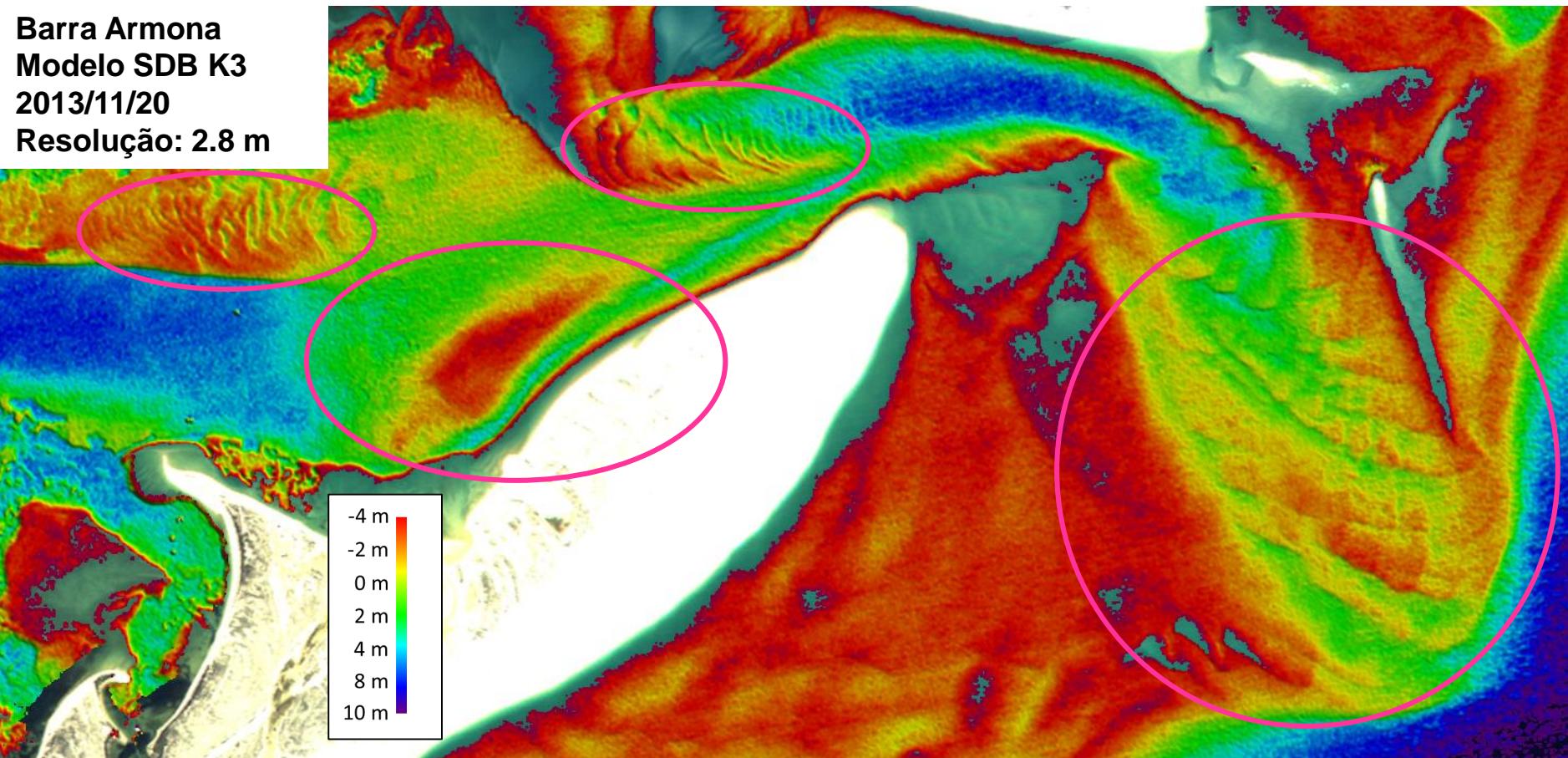
Barra Armona
Modelo SDB S2A
2015/11/29
Resolução: 10 m



Conhecer o mar para que todos o possam usar

Casos de Estudo: O detalhe dos modelos batimétricos SDB Kompsat 3

Barra Armona
Modelo SDB K3
2013/11/20
Resolução: 2.8 m



Conclusões

- Foi necessário adaptar a metodologia original para que o modelo de processamento fosse o mesmo para as diferentes imagens utilizadas.
- Os modelos batimétricos SDB revelaram-se capazes de acompanhar a evolução e as principais estruturas do fundo, até profundidades inferiores a 10 m, independentemente da resolução das imagens utilizadas para a sua derivação.
- A grande mais-valia dos modelos batimétricos SDB K3 e S2A, quando comparados com o LS8, é a melhor definição das estruturas do fundo.
- Com a constelação Sentinel 2 completa até ao final do ano, o ciclo de revisita irá diminuir para 5 dias. Comprovada a aplicabilidade da metodologia a imagens Sentinel 2, estaremos perante uma oportunidade única para aprofundar o desenvolvimento da SDB.

Os autores agradecem

- National Aeronautics and Space Administration (NASA) e United States Geological Survey (USGS) - **Imagens Landsat 8.**
- SI Imaging Services - **Imagens Kompsat-3 © KARI**
- European Spacial Agency (ESA) e União Europeia (EU)- **Imagens Sentinel 2A no âmbito do programa Copernicus**
- European Spacial Agency (ESA) - **Software SNAP.**

Sem estas imagens e *software*, este estudo não teria sido possível...

Obrigado....

