

# Posicionamento vertical nos levantamentos hidrográficos

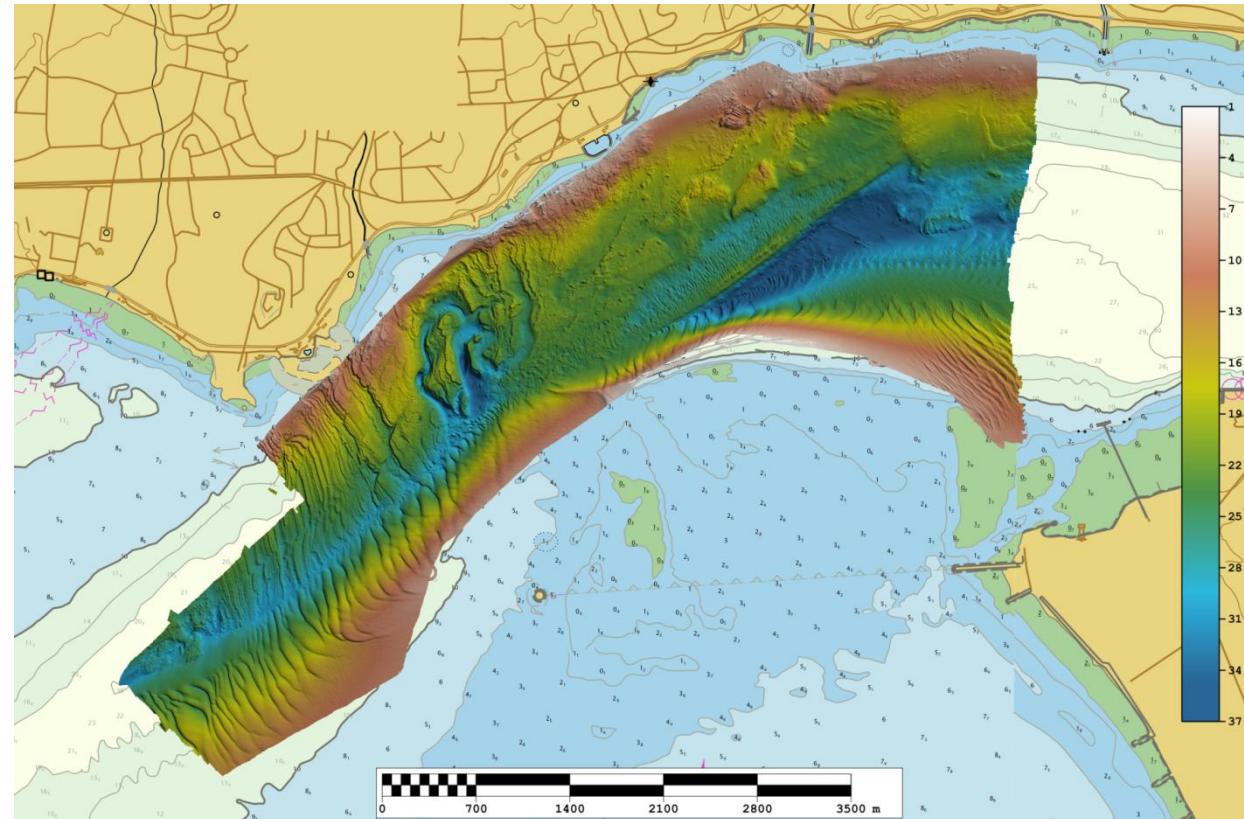


**J. Vicente, A. Moura, P. Sanches, P. Nunes, M. Miranda e J. Cruz**  
[delgado.vicente@hidrografico.pt](mailto:delgado.vicente@hidrografico.pt)

- Incerteza vertical quase decimétrica nos levantamentos hidrográficos (LH)?
- Continuação do trabalho apresentado nas 8<sup>as</sup> jornadas da PIANC
  - Nunes, P., Vicente, J., Lobo, A., Miranda, M., Monteiro, C. e Cruz, J. (2013): "Levantamentos hidrográficos com incerteza decimétrica?", 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa



Vantagens do  
posicionamento *Global  
Navigation Satellite System  
(GNSS) Real Time Kinematic*  
(RTK)



Nunes et al.  
(2013)

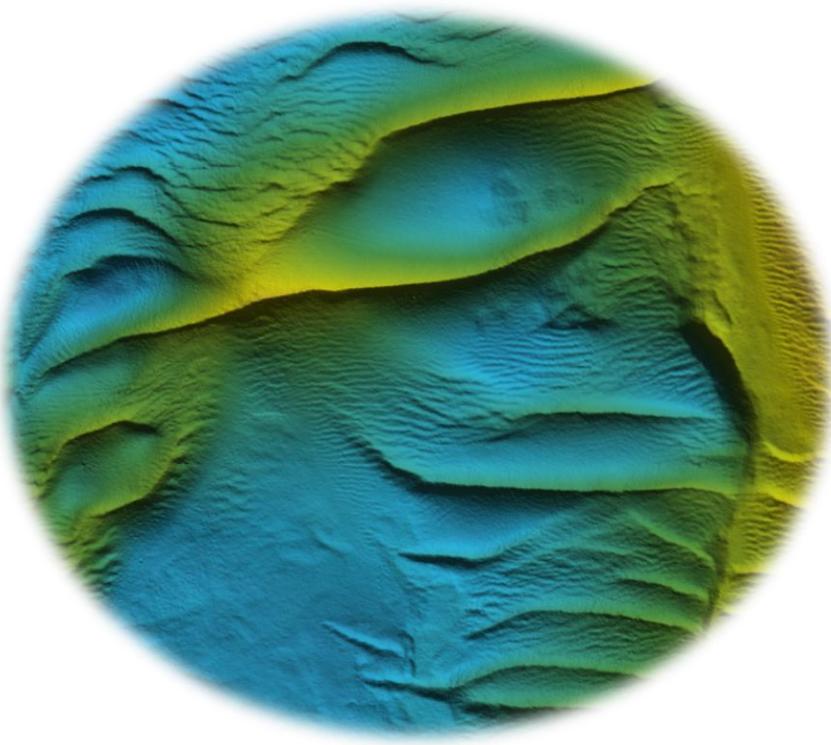
Para poderem afirmar que, atualmente, era possível realizar LH com incerteza quase decimétrica **consideraram, localmente** (Doca de Paço de Arcos), **uma incerteza de 3 cm** (1 sigma) do conjunto modelo do geoide e referência vertical.

**Problema** Poder-se-á assumir aquele valor de incerteza em qualquer local do território nacional?

**Questões**

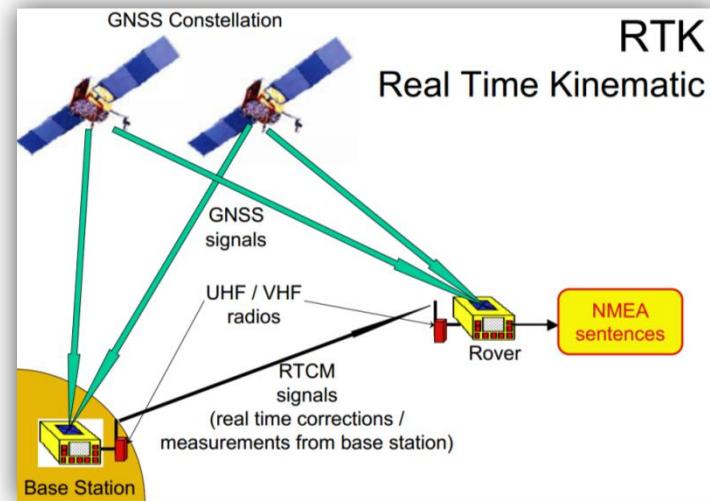
- Incerteza da posição da estação de referência?
- Incerteza do modelo do geoide?
- Sistema de referência?
- ...

- Ponto de partida: observações GNSS e os nivelamentos geométricos realizados pelo Instituto Hidrográfico em 2013 e 2014
- Objetivos:
  1. Expressar as diferenças em termos de posicionamento vertical entre a utilização das redes RENEP e SERVIR
  2. Quantificar as diferenças entre altitudes ortométricas obtidas a partir de observações GNSS e por nivelamentos geométricos
  3. Apresentar resultados da utilização dos modelos de separação elipsoide – *datum* cartográfico



1. Introdução
2. Ligação dos levantamentos hidrográficos (LH) aos sistemas de referência
3. Metodologia
4. Resultados
5. Análise de resultados
6. Considerações finais

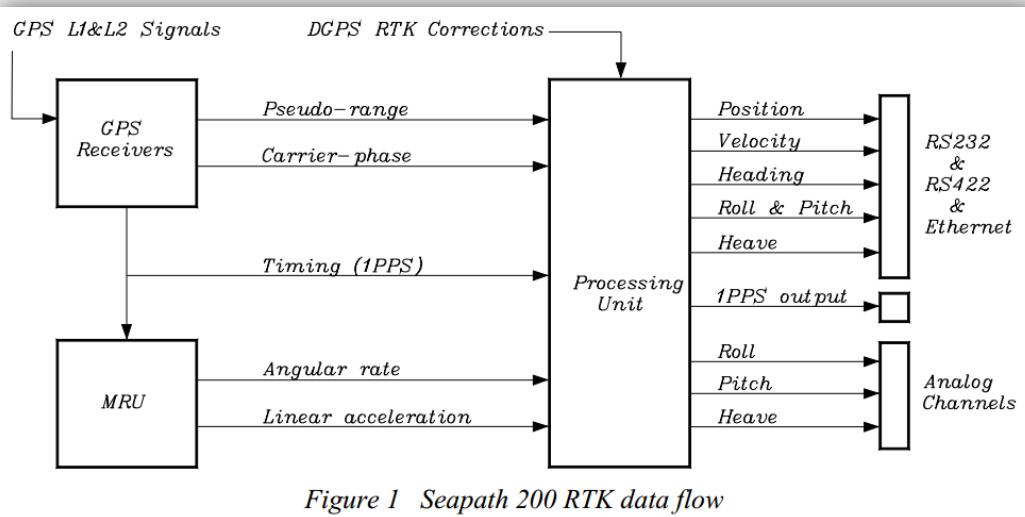
- Nunes *et al.* (2013) → Posicionamento vertical quase decimétrico:
  - Equipamentos calibrados com incerteza baixa e aferidos
  - Medição das distâncias entre os diversos sensores que constituem o sistema sondador e dos desvios de orientação existentes entre os referenciais associados a cada sensor
  - Conhecimento da variabilidade espacial e temporal da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água (utilização de um *moving vessel profiler*)
  - Utilização de um sistema de posicionamento GNSS RTK.



RTK: técnica de posicionamento diferencial em tempo real, em que uma estação de referência determina e transmite correções de fase para o receptor instalado na embarcação

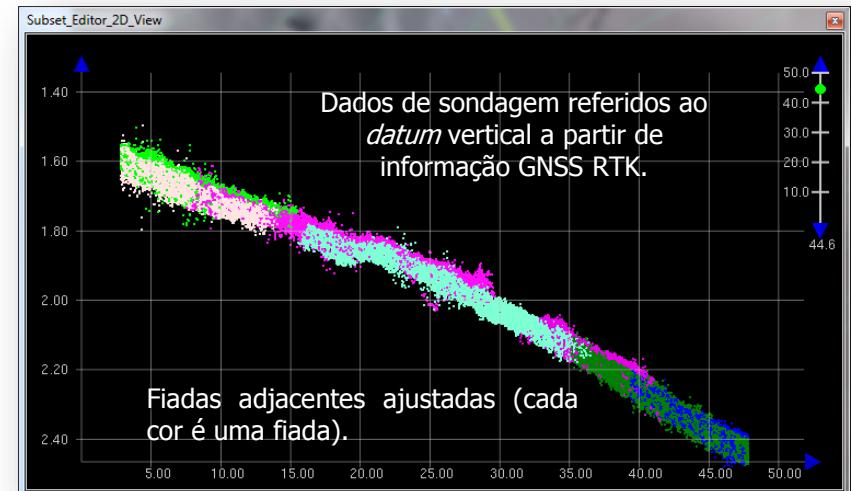
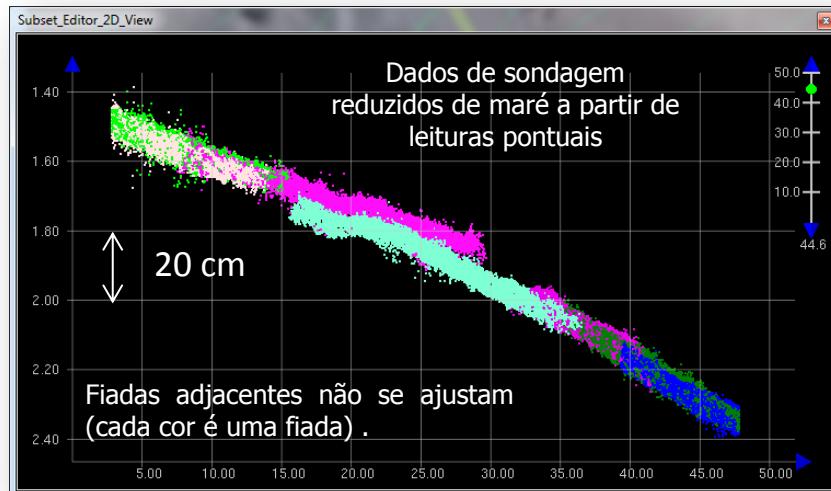


Sistema de posicionamento  
de bordo



- Com RTK necessário saber:
  - A separação entre a antena e o transdutor
  - A altura da antena relativamente ao elipsoide
  - O modelo de separação entre o elipsoide e o datum vertical

- LH executados com posicionamento GNSS RTK apresentam vantagens significativas relativamente aos LH processados com redução de maré a partir de leituras pontuais :
  - As variações espaciais da altura de maré ou as variações de imersão do transdutor são continuamente monitorizadas → diminuição considerável das incertezas na medição das profundidades



# Ligaçāo dos LH aos sistemas de referēcia

- Referēcia horizontal:

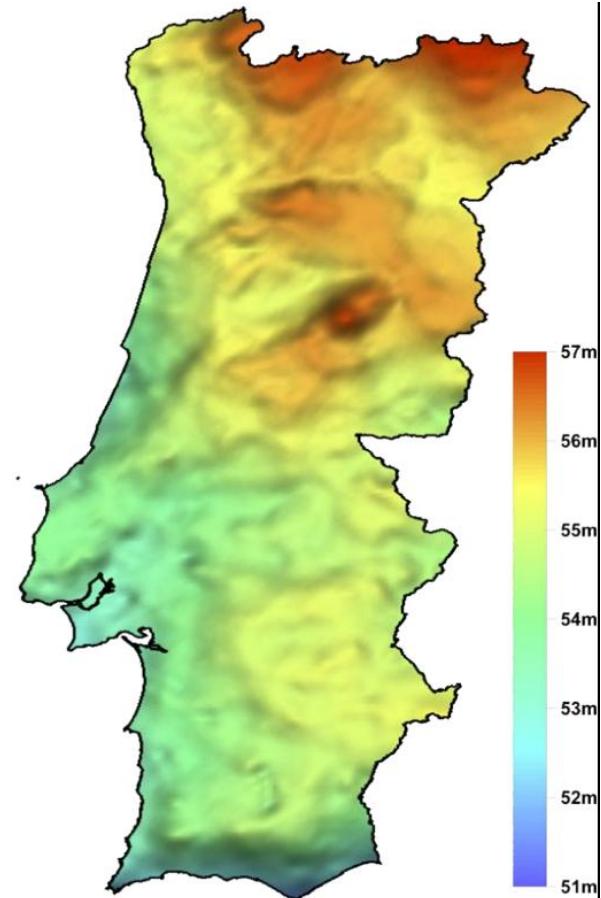
- Em Portugal continental: datum ETRS89
  - Na visualização e implantação de dados: PT-TM06-ETRS89
- Nas regiões autónomas: datum ITRF93.
  - Na visualização e implantação de dados: UTM-ITRF93

- Referēcia vertical:

- Profundidades referidas ao Zero Hidrográfico (ZH), plano estabelecido abaixo do Nível Médio adotado (NMA)

- Modelo do geoide

- GeodPT08 (Portugal continental)

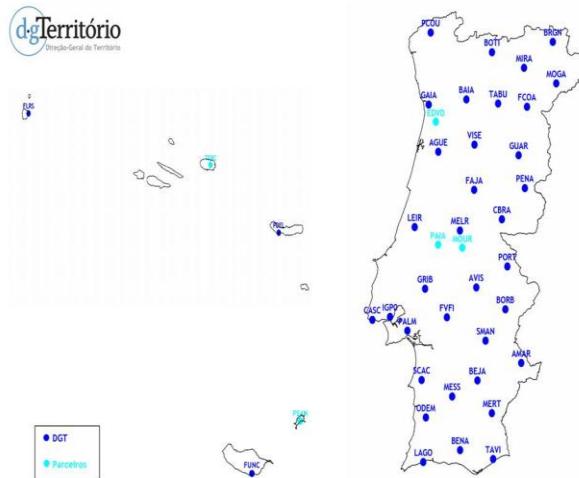


[http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia)

IH (2012): "NT-HI-01-v02, Especificações dos Levantamentos Hidrográficos", Instituto Hidrográfico, (em publicação).

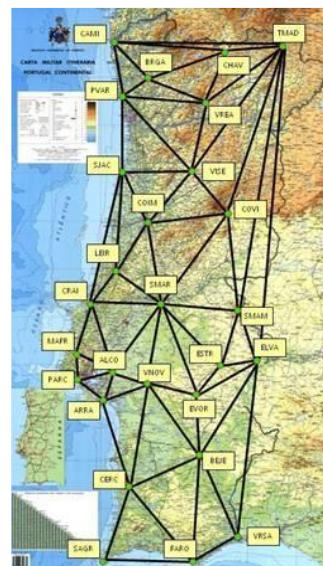
# Ligações aos sistemas de referência

# ReNEP (DGT)



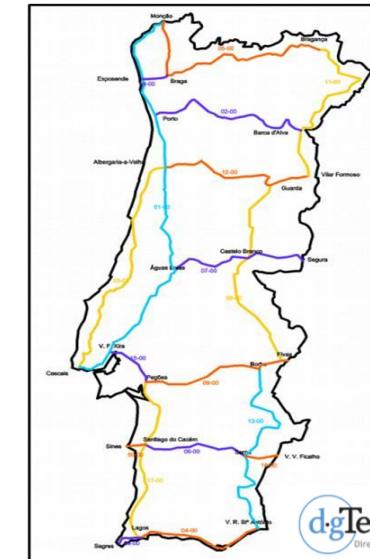
- ETRS89 referidas à época de observação 1995.4 (ETRF97)
  - ReNEP: Rede Nacional de Estações Permanentes

Servir (IGeoE)



## ITRF2005 (WGS84)

# Pontos de apoio IH



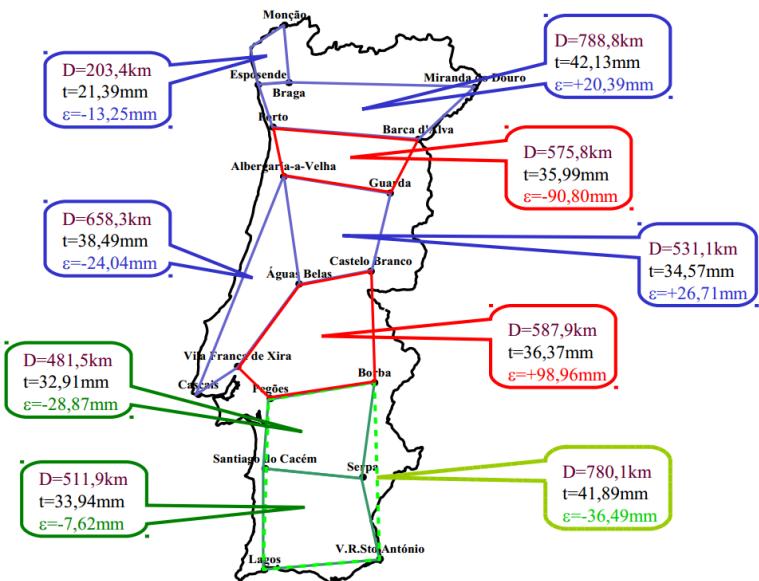
- ReNEP / RGN / RNGAP
  - RGN: Rede Geodésica Nacional
  - RNGAP: Rede de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

# Ligaçāo aos sistemas de referēncia

- ReNEP: “....faculta a determinação de coordenadas geográficas com precisão melhor que 10 cm”
  - Não possuem altitude ortométrica (H) disponível obtida por nivelamento geométrico referida ao *datum* altimétrico (Cascais)
- Necessário transformar as **altitudes elipsoidais (h)** em H
- “O GeodPT08 possibilita o posicionamento vertical com uma precisão global estimada de 4 cm, determinada com referēcia às redes geodésica e de nivelamento do Continente”
- Coordenadas locais PT-TM06-ETRS89 (M, P e altitude ortométrica)

Estações ReNEP				
Código	Local	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
AGUE	Águeda	40° 34' 32.08979" N	8° 26' 48.81599" W	102.94
AMAR	Amareleja	38° 12' 31.30250" N	7° 13' 40.37843" W	266.27
AVIS	Avis	39° 03' 23.79250" N	7° 53' 22.16083" W	270.08
BAIA	Baião	41° 09' 51.35962" N	8° 02' 02.55969" W	626.35
PEDE	...	...	...	...

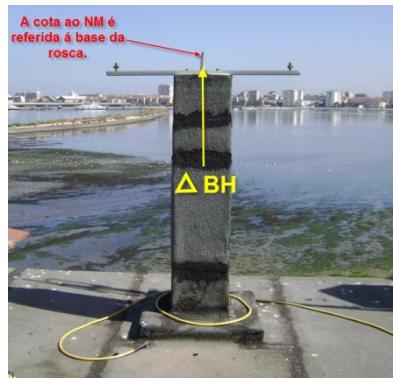
## Rede de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão



Qual a diferença entre a altitude ortométrica obtida por observações GNSS e a RNGAP num determinado ponto?

# Ligaçāo aos sistemas de referēncia

- Marco BH: 24 horas de observação GNSS / ajuste de rede (estações de referência ReNEP: CASC e IGP0):
  - Altitude elipsoidal determinada: **64,153 m**
- Cota ortométrica obtida por NG: 11,065 m
  - Altitude elipsoidal adicionando GeodPT08: **64,203 m**
- Diferença: 5 cm



ID do ponto:	BH1
Tipo coordenada:	Local
Latitude:	N38°38'36.10846"
Longitude:	O9°04'49.43705"
Altura:	64.153
Estado:	Ativado
Grid:	Direção leste: -82471.585 m Direção norte: -113356.488 m Elevação: 11.015 m

ID do ponto:	BH1
Tipo coordenada:	Grid
Direção leste:	-82471.585
Direção norte:	-113356.488
Elevação:	11.065
Estado:	Ativado
Local:	Latitude: N38°38'36.10846" Longitude: O9°04'49.43705" Altura: 64.203 m

- Efetuados NG e observações GNSS com o objetivo de determinar as altitudes ortométricas de diversas estações maregráficas e MN
  - Nos NG → nível digital da marca LEICA, modelo DNA03.
  - Na coordenação de marcas de nivelamento e de pontos de apoio → equipamentos GNSS TRIMBLE, modelos R7, 5800 e 5700. No processamento das observações GNSS foi utilizada a aplicação TRIMBLE BUSINESS CENTRE v.2.81.
- Em Portugal continental, a determinação das altitudes ortométricas dos pontos estacionados foi efetuada com base no GeodPT08
- Na Madeira, são apresentados resultados de altitudes ortométricas utilizando o modelo do geoide EGM2008 e um modelo local

NGA (2013): “EGM2008 - WGS 84 Version”, National Geospatial-Intelligence Agency.  
Disponível em: [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitym\\_od/egm2008/egm08\\_wgs84.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitym_od/egm2008/egm08_wgs84.html)

## Marcas observadas e tempos de observação

ID do ponto	Área	Período de observação (hh:mm:ss)
IH BH 09/11	Porto Recreio	00:37:55
IH BH 35/13	Porto Recreio	06:02:30
IH BH 36/13	Terminal XXI	06:10:00
Prego igreja (NP210)	Sines	06:10:00
REF_TOPO_APS_SINES	Terminal XXI	08:13:25
TACO S/I	Terminal XXI	00:05:40



- Dados GNSS processadas com base nas coordenadas geodésicas (latitude e longitude) e altitudes elipsoidais das estações de referência (ReNEP e SERVIR)



## Diferenças na coordenada M (m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	0,066	0,003	0,296	0,300
IH BH 35/13	0,002	0,004	0,294	0,298
IH BH 36/13	0,004	0,003	0,290	0,296
Prego Igreja (NP210)	0,006	0,007	0,295	0,301
REF_TOPOAPS_SINES	0,001	0,006	0,294	0,300
TACO S/I	0,001	0,003	---	0,300
Média das diferenças	0,011	0,004	0,294	0,299
Desvio padrão (1 sigma)	0,027	0,002	0,003	0,002

## Diferenças na coordenada P(m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	-0,002	0,001	-0,392	-0,402
IH BH 35/13	0,000	0,001	-0,391	-0,405
IH BH 36/13	0,003	0,001	-0,391	-0,406
Prego Igreja (NP210)	-0,002	0,002	-0,394	-0,404
REF_TOPOAPS_SINES	-0,001	0,003	-0,392	-0,402
TACO S/I	0,000	0,001	---	-0,401
Média das diferenças	0,000	0,001	-0,392	-0,403
Desvio padrão (1 sigma)	0,002	0,001	0,001	0,002

A: RENEP de Santiago do Cacém (SCAC) e processamento das diversas **linhas de base** de modo independente

B: RENEP SCAC e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

C: RENEP de SCAC, Cascais (CASC) e Lisboa (IGP0) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

D: SERVIR do Cercal (CERC) e da Arrábida (ARRA) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

E: Estação virtual da SERVIR (posicionada no terminal XXI) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

## Diferenças na altitude ortométrica (m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	-0,142	0,016	-0,008	0,031
IH BH 35/13	0,035	0,019	-0,017	0,034
IH BH 36/13	0,026	0,012	-0,011	0,044
Prego Igreja (NP210)	-0,010	0,023	-0,025	0,038
REF_TOPOAPS_SINES	0,077	0,068	0,019	0,027
TACO S/I	-0,035	0,015	---	---
Média das diferenças	-0,008	0,025	-0,015	0,035
Desvio padrão (1 sigma)	0,076	0,021	0,007	0,007

## Diferenças entre altitudes ortométricas (m)

### NG - GNSS

ID do ponto	A	B	C	D	E
IH BH 09/11	0,049	0,207	0,191	0,183	0,222
IH BH 35/13	0,222	0,206	0,187	0,170	0,221
IH BH 36/13	0,213	0,199	0,187	0,176	0,231
Prego Igreja (NP210)	0,163	0,196	0,177	0,148	0,211
TACO S/I	0,169	0,219	0,204	---	---
Média das diferenças	0,163	0,205	0,188	0,169	0,221
Desvio padrão (1 sigma)	0,069	0,009	0,011	0,015	0,008

A: RENEP de Santiago do Cacém (SCAC) e processamento das diversas **linhas de base** de modo independente;

B: RENEP SCAC e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

C: RENEP de SCAC, Cascais (CASC) e Lisboa (IGP0) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

D: SERVIR do Cercal (CERC) e da Arrábida (ARRA) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

E: Estação virtual da SERVIR (posicionada no terminal XXI) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos

- Estação de referência: MN IH BH 36/13
- Diferenças de altitudes ortométricas com forçamento das coordenadas locais da estação de referência (altitude ortométrica obtida por nivelamento geométrico)

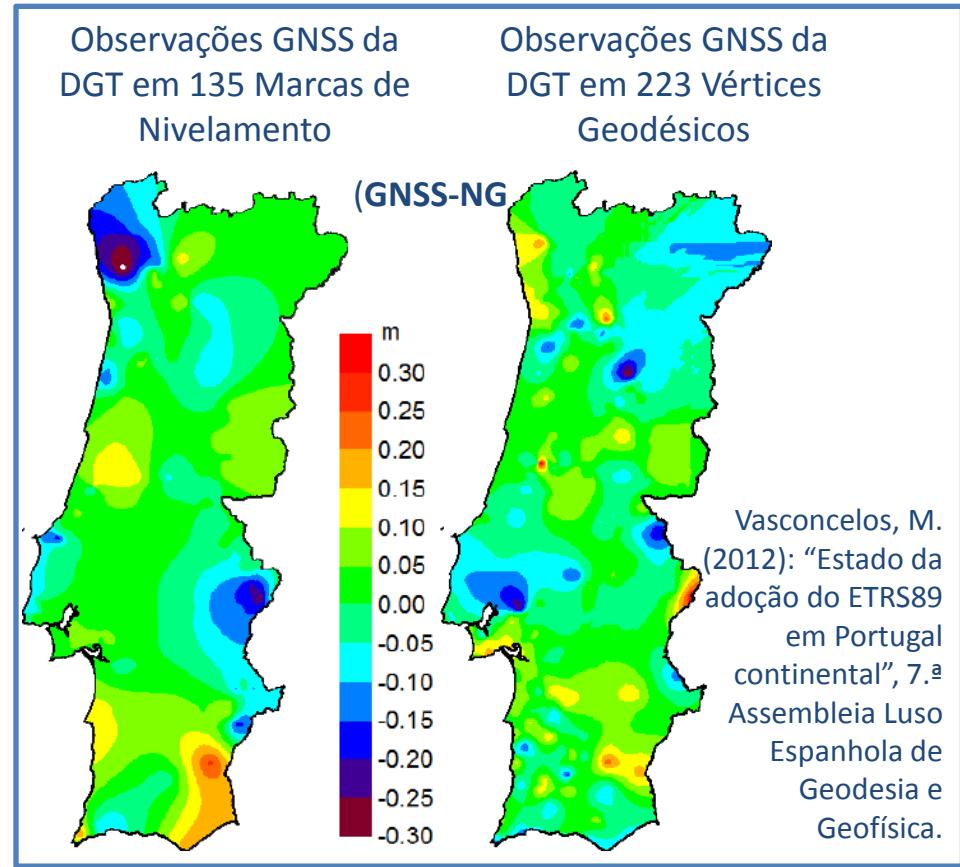
ID do ponto	Diferenças de cota (GNSS – NG) (m)
IH BH 09/11	0,003
IH BH 35/13	-0,005
Prego igreja (NP210)	-0,007



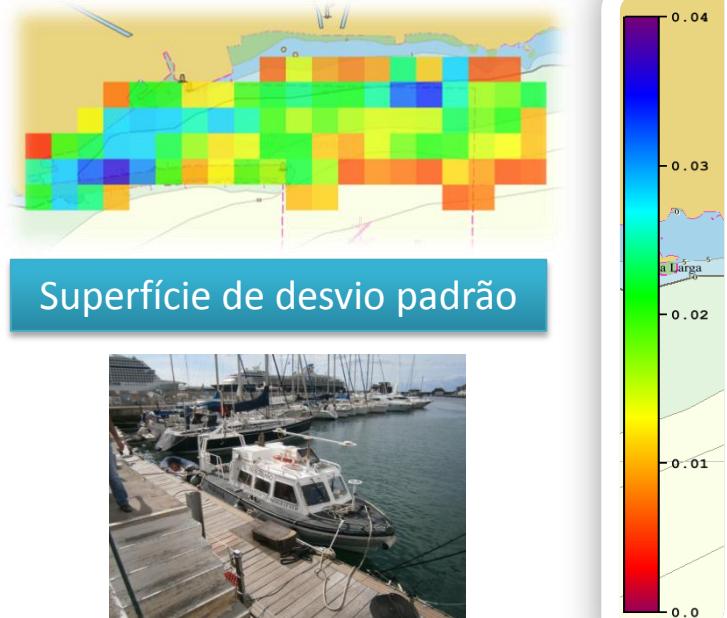
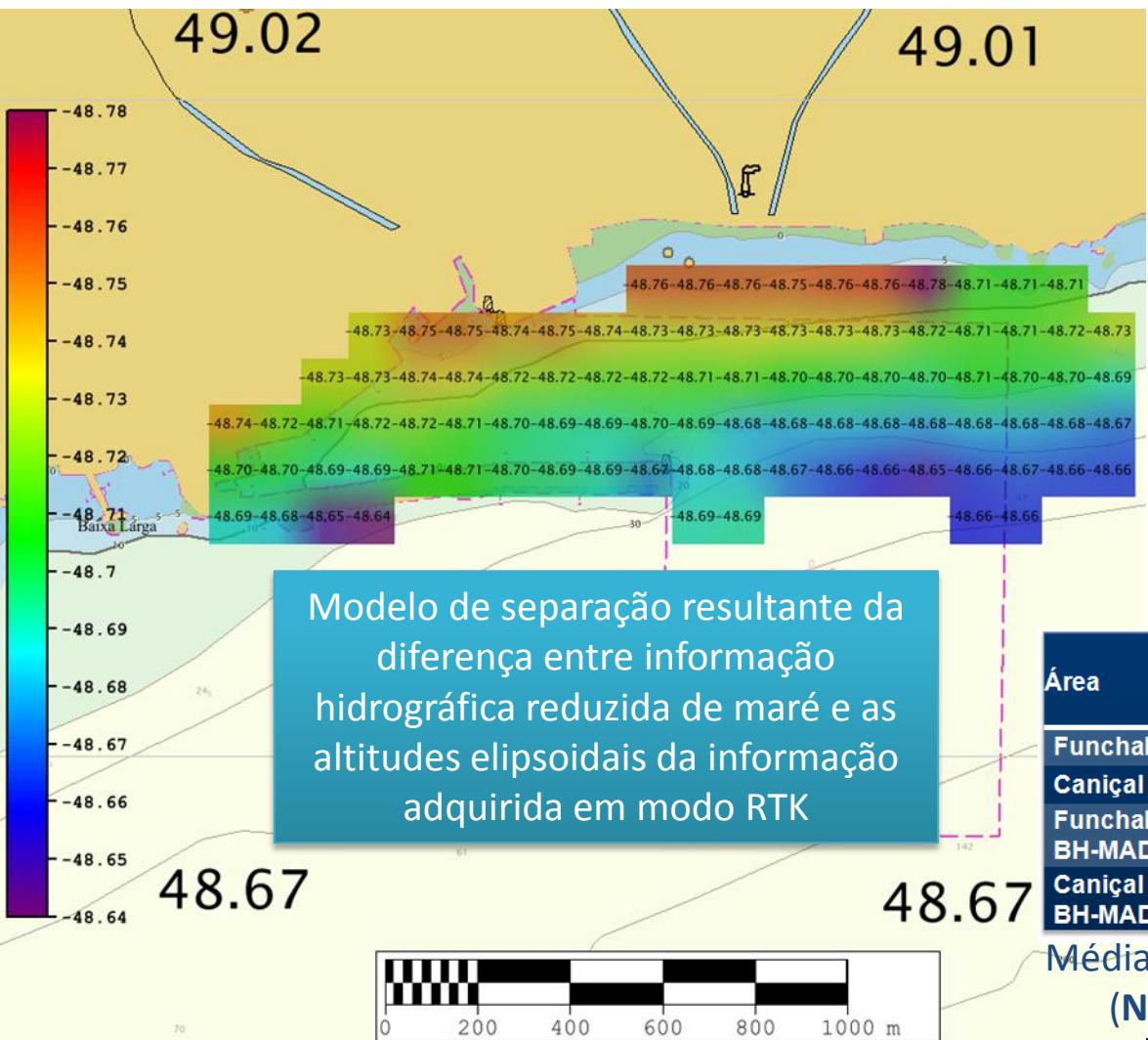
# Resultados – Portugal continental

Área	Marcas observadas	Estações de referência	Média da diferença de cotas (NG-GNSS) (m)
Lisboa – T. do Trigo	8	CASC, IGP0, IHBH	0,01
Oeiras – S. Julião	4	CASC, IGP0	0,00
Paço de Arcos (Doca)	2	CASC, IGP0	0,04
Paço de Arcos (MN003)	1	CASC, IGP0, IHBH	0,00
Montijo - Base Aérea	2	CASC, IGP0, IHBH	0,09
Seixal - Base Hidrog.	3	CASC, IGP0	0,05
Porto de Aveiro	5	AGUE, GAIA	-0,10
Porto – Cantareira	1	GAIA, IHBH	0,01
Porto – Cais de Banhos	1	GAIA, IHBH	0,07
Leixões	6	GAIA, IHBH	0,04
Setúbal - SECIL	1	CASC, IGP0, PALM, GRIB, SCAC, FVFI, IHBH	0,04
Porto de Sines	3	CASC, IGP0, SCAC	0,18
Portimão - Cais Marinha	1	BENA, LAGO, ODEM, TAVI	0,10
Cascais - Marina	5	CASC	-0,02

- Média das diferenças de altitudes ortométricas (**NG – GNSS, GeoidPT08**)



# Resultados - Madeira



Área	Marcas observadas	Estações de referência	Média da diferença de cotas (NG-GNSS)(m)
Funchal (EGM2008)	5	FUNC	-0,05
Caniçal (EGM2008)	2	FUNC	-0,15
Funchal (SEPMODEL-BH-MADEIRA-2013)	5	FUNC, IHBH	-0,01
Caniçal (SEPMODEL-BH-MADEIRA-2013)	2	FUNC, IHBH	-0,03

Média das diferenças de altitudes ortométricas (NG – GNSS): EGM2008 e Modelo local

# Análise de resultados



1

As diferenças entre as altitudes ortométricas determinadas a partir de observações GNSS e as obtidas por NG são, em alguns casos, muito significativas (superiores a 5 cm)



2

A utilização de linhas de base única deve ser evitada (em regra, os resultados são menos consistentes, realçando-se o elevado desvio padrão da média de diferenças obtida em Sines)



3

Não sendo possível efetuar um ajuste de rede geometricamente adequado, os tempos de observação GNSS devem ser aumentados (no mínimo uma sessão de 24 horas ou duas sessões de 6 horas cada em dias diferentes)



4

Na comparação das diferenças entre as redes SERVIR E RENEP (em Sines), pode-se concluir que ambas podem ser utilizadas em LH de ordem 1 e 2. No entanto, em LH de ordem especial ou na coordenação de pontos de apoio, dever-se-á utilizar a RENEP



5

No posicionamento cinemático, dever-se-á realizar o forçamento da altitude ortométrica do ponto de apoio utilizando cotas obtidas por NG, ou, realizar observações GNSS na área de sondagem que permitam o estabelecimento de um modelo de separação local

# Considerações finais

- Causas das diferenças entre as altitudes

ortométricas  
determinadas a partir de observações GNSS e as obtidas por NG

- Necessários estudos adicionais
- Para efetuar LH com incerteza quase decimétrica, a incerteza vertical admissível para o conjunto [geoide, coordenadas da estação de referência] deverá ser inferior a 5 cm (a 95% de nível de confiança)

