

BRIGADA HIDROGRÁFICA
ELEMENTO HI41LH01
RELATÓRIO TÉCNICO FINAL
REL TF HI 06/23 – VOLUME 2 DE 5
**LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NO
ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES – ILHAS DE
SÃO JORGE E DA GRACIOSA**
2023-06-27 A 2023-08-02

2024-02-29

NÃO CLASSIFICADO

FOLHA DE DIFUSÃO		
CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DO RELATÓRIO Não classificado		
RESTRIÇÕES COM RESTRIÇÕES <input checked="" type="checkbox"/> SEM RESTRIÇÕES/PÚBLICO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> USO EXCLUSIVO DO IH <input type="checkbox"/> USO EXCLUSIVO DO CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/> DIVULGAÇÃO SUJEITA A AUTORIZAÇÃO PRÉVIA <input checked="" type="checkbox"/> OUTRAS (VER NOTAS) DURAÇÃO DAS RESTRIÇÕES: <input type="checkbox"/> PERMANENTE <input checked="" type="checkbox"/> 2 ANOS		DESCCLASSIFICAÇÃO Nada a referir DISTRIBUIÇÃO/DISPONIBILIDADE DO RELATÓRIO GRA, DD, HI, BH
AUTOR(ES) Primeiro-tenente Neves de Sousa Capitão-tenente Ventura da Cruz		AUTOR INSTITUCIONAL Instituto Hidrográfico Brigada Hidrográfica
TÍTULO DO RELATÓRIO Levantamento hidrográfico no arquipélago dos Açores – ilhas de São Jorge e da Graciosa		
TIPO DE RELATÓRIO Técnico Final	DESIGNAÇÃO DO RELATÓRIO REL TF HI 06/23 VOLUME 2 DE 5	ELEMENTO E ANO HI41LH01 2023
PERÍODO DE EXECUÇÃO 2023-06-27 a 2023-08-02	DATA DO RELATÓRIO 2024-02-29	N.º DE FOLHAS 123
NOTAS <p>Este levantamento faz parte do contrato de cooperação celebrado entre a Secretaria Regional do Mar e das Pescas/Direção Regional dos Assuntos do Mar e o Instituto Hidrográfico celebrado em 12 de abril de 2022. Toda a informação original recolhida será arquivada no Instituto Hidrográfico, tendo o cliente sempre acesso a ela. O acesso aos dados, por parte de outras entidades, ficará condicionado, durante dois anos após a entrega do relatório, à prévia concordância da entidade adjudicante.</p>		
RESUMO <p>O levantamento hidrográfico nas ilhas de São Jorge e da Graciosa teve como objetivo obter informação atualizada, para apoio ao processo de Ordenamento do Espaço Marítimo dos Açores e para atualização cartográfica.</p> <p>Este levantamento hidrográfico, que cumpre os requisitos da ordem 1a estabelecidos na publicação S44, ed. 6.1, da OHI. Foi utilizada a embarcação de sondagem <i>Scorpion</i> equipada com o SMF KONGSBERG EM 2040C. O posicionamento foi assegurado por sistemas DGNSS RTK.</p> <p>Adicionalmente, foi realizada a coordenação de uma ajuda à navegação fixa.</p>		
EDITOR INSTITUTO HIDROGRÁFICO Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa Tel. 210 943 000 / Fax 210 943 299 geral@hidrografico.pt		DESCRIPTORIOS Arquipélago dos Açores Ilha de São Jorge Ilha Graciosa Levantamentos costeiros
DATA DE EDIÇÃO Fevereiro de 2024		

NÃO CLASSIFICADO

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO

N.º	DISTRIBUIÇÃO INTERNA	DISTRIBUIÇÃO EXTERNA	FORMATO
1		GRA	PDF
2	DD, HI, BH		PDF

EXEMPLAR N.º __

ÍNDICE

FOLHA DE DIFUSÃO	iii
LISTA DE DISTRIBUIÇÃO.....	v
ÍNDICE	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
1. Introdução.....	1
2. Elementos de planeamento.....	1
2.1. Cartografia em vigor	1
2.2. Resumo histórico.....	2
2.3. Reconhecimento	2
3. Sistemas de referência	2
3.1. Referência horizontal.....	2
3.1.1. Datum	2
3.1.2. Elipsoide	2
3.1.3. Sistema de projeção	2
3.2. Referência vertical.....	2
3.2.1. Zero Hidrográfico	2
3.2.2. Nível Médio Adotado.....	3
4. Rede local.....	3
4.1. Estações de referência.....	3
5. Hidrografia	3
5.1. Esquema de cobertura	3
5.2. Maré.....	4
5.2.1. Redução de maré	4
5.2.2. Comparação com a previsão de maré	4
5.3. Aquisição de dados SMF.....	5
5.3.1. Configuração do sistema sondador.....	5
5.3.2. Posicionamento e atitude da plataforma	5
5.3.3. Velocidade de propagação do som.....	5
5.3.4. Aquisição, controlo e gravação da informação hidrográfica	5
5.4. Processamento de dados SMF	6
5.4.1. Preparação e análise dos datagramas.....	6
5.4.2. Exatidão do sistema de posicionamento	6
5.4.3. Balanço da incerteza das medições.....	7
5.4.4. Avaliação da incerteza das medições	8
5.4.5. Georreferenciação e correção das sondas	8

5.4.6. Validação dos modelos batimétricos	8
5.4.7. Produtos finais do Levantamento Hidrográfico	9
6. Topografia	9
6.1. Estruturas	9
6.1.1. Controlo de qualidade	9
6.1.2. Produtos finais do levantamento topográfico	10
7. Elementos de navegação	10
7.1. Objetos, obstruções e estruturas relevantes	10
7.2. Ajudas à navegação	11
7.2.1. Ajudas à navegação fixas.....	11
8. Outros elementos	11
8.1. Comparação com a cartografia em vigor.....	11
8.2. Toponímia.....	11
9. Produtos finais para arquivo	11
10. Dados estatísticos	12
10.1. Trabalhos em terra.....	12
10.2. Trabalhos no mar.....	12
10.3. Espaço em disco.....	12
11. Diversos	13
11.1. Apoios.....	13
11.2. Ocorrências	13
11.3. Limitações.....	13
12. Considerações finais	13
REFERÊNCIAS.....	15

TABELAS

Tabela I – Coordenação da estação de referência.....	3
Tabela II – Localização dos marégrafos.....	4
Tabela III – Parâmetros estatísticos da comparação entre alturas de maré para o porto das Velas (São Jorge).....	4
Tabela IV – Parâmetros estatísticos da comparação entre alturas de maré para o porto da Barra (Graciosa).....	4
Tabela V – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 28 de junho de 2023 com REF_Velas (© IH BH 07/19).....	7
Tabela VI – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 24 de julho de 2023 com REF_Velas (© IH BH 07/19).....	7

Tabela VII – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 20 de julho de 2023 com REPRAA AZGR (☉ IH BH 07/20).....	7
Tabela VIII – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 22 de julho de 2023 com REF Velas (☉ IH BH 07/20).	7
Tabela IX – Exatidão do sistema de posicionamento (☉ IH BH 07/20) – inicial.	10
Tabela X – Exatidão do sistema de posicionamento (☉ IH BH 07/20) – final.	10
Tabela XI – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha de São Jorge.	10
Tabela XII – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha Graciosa.	10

APÊNDICES

Apêndice A-1	Equipa do Levantamento (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice A-2	Equipamentos utilizados no Levantamento (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice B	Esquema da Área Sondada
Apêndice C	Relação de Coordenadas dos Pontos de Apoio
Apêndice D-1	Parâmetros de Aquisição dos Dados Hidrográficos (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice D-2	Parâmetros de Processamento dos Dados Hidrográficos (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice D-3	Modelação Batimétrica (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice E	Fichas de Instalação de Marégrafos (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice F-1	Relação de Coordenadas das Ajudas à Navegação Fixas
Apêndice F-2	Ficha de Ponto Coordenado das Ajudas à Navegação Fixas (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice G	Comparação com a Cartografia em Vigor (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice H	Velocidade de Propagação do Som (apenas no exemplar n.º 2)
Apêndice I	Objetos, obstruções, estruturas relevantes e profundidades mínimas
Apêndice J	Ocorrências e limitações (apenas no exemplar n.º 2)

ANEXOS

Anexo A	Ordem de Execução e Instruções Técnicas (apenas no exemplar n.º 2)
---------	---

LISTA DE ABREVIATURAS

AN	Ajuda à Navegação
ANAC	Avaliação da Necessidade de Atualização Cartográfica
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASVP	ASCII Sound Velocity Profile
AZGR	Estação REPRAA da Graciosa
BH	Brigada Hidrográfica
CAD	Computer Aided Design
CARIS HIPS	Computer Aided Resource Information System Hydrographic Information Processing System
CEN	Carta Eletrónica de Navegação
CN	Carta Náutica
CW	Continuous Wave
CSAR	Caris Spatial Archive
CUBE	Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGT	Direção-Geral do Território
DRMS	Distance Root Mean Square
DWG	Extensão de Ficheiro do Software AUTOCAD
DXF	Drawing Exchange Format
FPC	Ficha de Ponto Coordenado
FPS	Fiada Principal de Sondagem
FVS	Fiada de Verificação de Sondagem
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRA	Governo Regional dos Açores
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HI	Divisão de Hidrografia do Instituto Hidrográfico
IH	Instituto Hidrográfico
IT	Instruções Técnicas
ITRF93	International Terrestrial Reference Frame 1993
KM	Kongsberg Maritime
LH	Levantamento Hidrográfico
LTH	Levantamento Topo-Hidrográfico
LT	Levantamento Topográfico
MB	Modelo Batimétrico
MBCC	Modelo Batimétrico de Cobertura Completa

MIVA	Máxima Incerteza Vertical Admissível
MN	Marca de Nivelamento
MRU	Motion Reference Unit
NMA	Nível Médio Adotado
NTRIP	Network Transport of RTCM via Internet Protocol
OE	Ordem de Execução
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
PA	Ponto de Apoio
PA2D	Ponto de Apoio 2D
PDF	Portable Document Format
PIED	Estação REPRAA da Piedade
PN	Publicação Náutica
RADAR	Radio Detection And Ranging
REF	Estação de Referência
REL TF	Relatório Técnico Final
REPRAA	Rede de Estações Permanentes da Região Autónoma dos Açores
RP	Reference Point
RTK	Real-Time Kinematic
SIS	Seafloor Information System
SMF	Sondador Multifeixe
SVP	Sound Velocity Profiler
TBC	Trimble Business Center
THU	Total Horizontal Uncertainty
TPU	Total Propagated Uncertainty
TVU	Total Vertical Uncertainty
VPS	Velocidade de Propagação do Som
VRS	Variable Resolution Surface
XML	Extensible Markup Language
ZH	Zero Hidrográfico

BRIGADA HIDROGRÁFICA
ELEMENTO HI41LH01
RELATÓRIO TÉCNICO FINAL
REL TF HI 06/23 – VOLUME 2 DE 5
**LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES – ILHAS DE
SÃO JORGE E DA GRACIOSA**
2023-06-27 A 2023-08-02

1. Introdução

A Brigada Hidrográfica (BH), em cumprimento da Ordem de Execução (OE) 16/DT/23 de 11 de abril de 2023 e de acordo com as Instruções Técnicas (IT) 06/23 da Divisão de Hidrografia (HI) do Instituto Hidrográfico (IH), reproduzidas no anexo A, realizou, no período de 27 de junho a 2 de agosto de 2023, um levantamento topo-hidrográfico (LTH) no arquipélago dos Açores, nas ilhas de São Jorge e da Graciosa.

A equipa envolvida e os equipamentos utilizados no levantamento encontram-se detalhados nos apêndices A-1 e A-2, respetivamente.

Os trabalhos de estabelecimento da rede local consistiram nas seguintes ações:

- Instalação de uma estação de referência (REF) na ilha de São Jorge;
- Instalação de dois marégrafos, um na ilha de São Jorge (porto das Velas) e um na ilha Graciosa (porto da Barra).

O LTH decorreu do contrato de cooperação celebrado entre a Secretaria Regional do Mar e das Pescas/Direção Regional dos Assuntos do Mar e o IH, assinado em 12 de abril de 2022, com o objetivo de obter informação para apoio ao processo de Ordenamento do Espaço Marítimo dos Açores e para atualização cartográfica, com os requisitos de ordem 1a, conforme a publicação S-44 – Especificações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) para Levantamentos Hidrográficos, edição 6.1, outubro de 2022.

O levantamento topográfico (LT) incluiu os seguintes trabalhos:

- Coordenação de uma ajuda à navegação (AN) fixa;
- Delineação de infraestruturas portuárias no Portinho da Barra.

2. Elementos de planeamento

2.1. Cartografia em vigor

As áreas do levantamento encontram-se representadas nas cartas náuticas (CN):

- 47501 – Portos das Ilhas de São Jorge e do Pico, 1ª edição, dezembro de 2010;
- 46201 – Canal de São Jorge (ilhas de São Jorge e Pico), 2ª edição, novembro de 2012;

- 46404 – Ilha Graciosa, 1ª edição, janeiro de 2011.

As áreas do levantamento encontram-se representadas nas cartas eletrônicas de navegação (CEN):

- PT548507 – Ilha Graciosa - Porto de Vila da Praia;
- PT548509 – Ilha de São Jorge - Porto das Velas;
- PT446201 – Canal de São Jorge (ilhas de São Jorge e Pico);
- PT446404 – Arquipélago dos Açores – Ilha Graciosa.

2.2. Resumo histórico

Os últimos levantamentos realizados nesta área decorreram:

- Entre 10 de julho e 21 de agosto de 2019, conforme relatório técnico final (REL TF) HI 13A/19 – Vol. II;
- Entre 22 de junho e 10 de agosto de 2020, conforme REL TF HI 03/20.

2.3. Reconhecimento

O reconhecimento terrestre da ilha de São Jorge foi efetuado nos dias 28 e 29 de junho de 2023, tendo-se identificado os locais passíveis de atracar a embarcação de sondagem e a existência de pontos de apoio (PA) e marcas de nivelamento (MN) de trabalhos anteriores que servissem de apoio ao estabelecimento da rede local para este LH. No que diz respeito à ilha Graciosa não houve reconhecimento precedente aos trabalhos de campo.

3. Sistemas de referência

3.1. Referência horizontal

3.1.1. Datum

International Terrestrial Reference Frame 1993 (ITRF93).

3.1.2. Elipsoide

Geodetic Reference System 1980 (GRS80).

3.1.3. Sistema de projeção

PTRA08-UTM / ITRF93 – Fuso 26N.

3.2. Referência vertical

3.2.1. Zero Hidrográfico

As profundidades encontram-se referidas ao zero hidrográfico (ZH), que no local do LH, se encontra 1,00 m abaixo do Nível Médio Adotado (NMA) no arquipélago dos Açores (Ponta Delgada, 1991).

3.2.2. Nível Médio Adotado

Na coordenação de PA e AN foi utilizado como plano de referência o NMA no arquipélago dos Açores.

4. Rede local

4.1. Estações de referência

Para o posicionamento da embarcação de sondagem no LH da ilha de São Jorge foi instalada a REF *Differential Global Navigation Satellite System* (DGNSS) *Real-Time Kinematic* (RTK) no telhado do quartel dos Bombeiros Voluntários das Velas. Neste sentido, foi coordenado o ponto de apoio 2D (PA2D) ☉ REF_Velas com um recetor TRIMBLE R9s *Global Navigation Satellite System* (GNSS) geodésico (código e fase) em modo estático. O processamento das observações GNSS foi efetuado com o software TRIMBLE BUSINESS CENTER (TBC) v.5.80, através de ajustamento em rede com as estações de referência da Rede de Estações Permanentes da Região Autónoma dos Açores (REPRAA) Graciosa (AZGR) e Piedade (PIED).

Para o posicionamento da embarcação de sondagem no LH da ilha Graciosa foi utilizada no dia 20 de julho a REF AZGR da REPRAA. Nos restantes dias do LH foi utilizada para garantir o posicionamento horizontal da embarcação de sondagem, a REF DGNSS RTK ☉ REF_Velas, devido a uma anomalia na estação da REPRAA AZGR.

Os parâmetros de qualidade das coordenações encontram-se descritos na tabela I.

Tabela I – Coordenação da estação de referência.

Designação	Distância à Área de Sondagem		Incerteza (95%)		
	Mínima (m)	Máxima (m)	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)
☉ REF_velas	1 270	48 000	0,059	0,059	0,306

A relação de coordenadas dos PA encontra-se detalhada no apêndice C

5. Hidrografia

5.1. Esquema de cobertura

O LH, de ordem 1a, foi efetuado por um sistema sondador multifeixe (SMF) com a seguinte cobertura:

- Fiadas principais de sondagem (FPS) com direção paralela à batimetria;
- Sobreposição de 10 % entre FPS adjacentes (120 % de cobertura);
- Fiadas de verificação de sondagem (FVS) com espaçamento médio inferior a 15 vezes o espaçamento médio das FPS.

O esquema da área sondada encontra-se detalhado no apêndice B.

5.2. Maré

5.2.1. Redução de maré

A redução da sondagem foi efetuada, no LH de São Jorge através dos dados do marégrafo *Radio Detection And Ranging* (RADAR) instalado na MN ☉ IH BH 08/2019 e no LH da Graciosa através dos dados do marégrafo RADAR instalado na MN ☉ IH BH 06/20, conforme descrito na tabela II.

Tabela II – Localização dos marégrafos.

Designação	Localização	Período de Observação
☉ IH BH 08/2019	Marina Velas (São Jorge)	2023-06-27 a 2023-07-25
☉ IH BH 06/20	Portinho da Barra (Graciosa)	2023-07-20 a 2023-07-23

As fichas de instalação dos marégrafos encontram-se detalhadas no apêndice E.

5.2.2. Comparação com a previsão de maré

A comparação entre a altura de maré registada pelo marégrafo de RADAR instalado no porto das Velas e a prevista para o porto da Horta com as concordâncias para as Velas (correção em tempo de mais sete minutos), revelou os resultados descritos na tabela III.

Tabela III – Parâmetros estatísticos da comparação entre alturas de maré para o porto das Velas (São Jorge).

Parâmetro	Valor
Número de comparações	6 677
Média das diferenças ¹	0,131 m
Desvio padrão	0,057 m

A comparação entre a altura de maré registada pelo marégrafo de RADAR instalado no Portinho da Barra e a prevista para o porto de Angra do Heroísmo com as concordâncias para o porto de Santa Cruz (correção em tempo de mais onze minutos), revelou os resultados descritos na tabela IV.

Tabela IV – Parâmetros estatísticos da comparação entre alturas de maré para o porto da Barra (Graciosa).

Parâmetro	Valor
Número de comparações	737
Média das diferenças ²	0,147 m
Desvio padrão	0,054 m

¹ Valor negativo/positivo significa altura de maré registada inferior/superior à prevista.

² Valor negativo/positivo significa altura de maré registada inferior/superior à prevista.

5.3. Aquisição de dados SMF

5.3.1. Configuração do sistema sondador

O LH, de ordem 1a, foi realizado a bordo da embarcação de sondagem *Scorpion*, com o SMF KONGSBERG EM 2040C a operar na frequência de 300 kHz e com uma imersão do transdutor de 1 m.

Os parâmetros de instalação e aferição do SMF, utilizados durante a aquisição de dados, encontram-se detalhados no apêndice D-1.

5.3.2. Posicionamento e atitude da plataforma

A integração do posicionamento, arfagem (*heave*), atitude (*roll*, *pitch*) e proa (*heading*) da embarcação de sondagem, referidos ao seu ponto de referência (RP³), foi assegurada pelo módulo SEAPATH 130, com base na informação do sensor inercial KONGSBERG SEATEX *Motion Reference Unit* (MRU) 5+ e das correções DGNSS RTK, recebidas via *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP) *Client*, agregadas à estação REPRAA AZGR no dia 20 de julho e a partir da REF instalada no PA ☉ REF_Velas nos restantes dias do LH.

O posicionamento foi adquirido com uma taxa de 10 Hz e a atitude com uma taxa de 100 Hz.

5.3.3. Velocidade de propagação do som

A medição da velocidade de propagação do som (VPS) na água foi realizada:

- À profundidade de imersão do transdutor com um *probe*, junto ao transdutor, AML MICRO-X SV, com uma taxa de 1 Hz, permitindo o guiamento dos feixes do SMF;
- Ao longo da coluna de água com um perfilador (SVP⁴) AML-3-LGR, permitindo o traçado do raio acústico.

A execução de perfis de VPS obedeceu ao seguinte método:

- No início de cada sessão de sondagem, na zona de maior profundidade dentro da área do levantamento, a barlacorrente, foi adquirido um perfil com o SVP;
- Este perfil foi atualizado sempre que julgado conveniente, tendo em consideração a correspondência com a informação fornecida pelo *probe* e a alteração das condições ambientais (temperatura, maré).

A relação de perfis de VPS efetuados encontra-se detalhada no apêndice H.

5.3.4. Aquisição, controlo e gravação da informação hidrográfica

A aquisição, controlo e gravação de dados foram efetuados através do software *Seafloor Information System* (SIS) v.4.3.2, associado ao SMF KONGSBERG EM 2040C:

³ Sigla em inglês: *Reference Point*.

⁴ Sigla em inglês: *Sound Velocity Profiler*.

- As profundidades medidas foram corrigidas dos dados de atitude da embarcação e dos parâmetros obtidos nas aferições e referidas ao nível instantâneo de água;
- A cobertura efetiva do SMF foi limitada a 120° (60° para cada bordo), correspondendo a uma largura da faixa sondada aproximadamente igual a 3,5 vezes a profundidade, com uma sobreposição de 10 % entre FPS adjacentes (120 % de cobertura). Esta cobertura garantiu a busca total do fundo e permitiu cumprir as especificações requeridas para levantamentos de ordem 1a, conforme definido na publicação S-44, edição 6.1 de outubro de 2022 da OHI;
- A aquisição de dados foi efetuada no modo de transmissão de impulso CW⁵ e de formação de feixes *Equidistant High Density*⁶, permitindo a aquisição de 400 sondas, no sentido bombordo-estibordo (*across-track*), por impulso transmitido;
- A velocidade da embarcação de sondagem foi adaptada em função da profundidade de cada área, garantindo a busca total do fundo no sentido proa-popa (*along-track*). A sua velocidade média foi de 3,13 m/s.

5.4. Processamento de dados SMF

Os dados adquiridos com SMF foram processados no software *Computer Aided Resource Information System Hydrographic Information Processing System* (CARIS HIPS) v.11.4.23, não tendo sido aplicados filtros na importação.

5.4.1. Preparação e análise dos datagramas

A análise das fiadas obedeceu ao seguinte método:

- Configuração do ficheiro da embarcação de sondagem (*Vessel File*) com os parâmetros de instalação e aferição dos equipamentos;
- Interpolação da trajetória da embarcação, baseada nas posições gravadas;
- Elaboração dos datagramas de maré, através do registo dos marégrafos;
- Análise dos dados de navegação e de atitude, para deteção de eventuais erros e consequente rejeição das sondas por eles afetadas.

5.4.2. Exatidão do sistema de posicionamento

A avaliação da exatidão do sistema de posicionamento da embarcação foi realizada através da colocação da antena GNSS nos PA ☉ IH BH 07/19 (Velas, São Jorge) e ☉ IH BH 07/20 (Portinho da Barra, Graciosa) e subsequente comparação entre as coordenadas obtidas pelo sistema de posicionamento da embarcação e as coordenadas conhecidas dos referidos PA.

⁵ Sigla em inglês: *Continuous Wave*.

⁶ Designação em inglês para: equidistante de alta densidade.

Os resultados obtidos, descritos nas tabelas V a VIII, permitiram efetuar a aquisição de dados de forma a cumprir com as especificações do levantamento de ordem 1a.

Tabela V – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 28 de junho de 2023 com REF_Velas (© IH BH 07/19).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 156		
Média (m)	-0,034	0,036	0,053
Desvio padrão (m)	0,024	0,006	0,015
2DRMS ⁷ (m)	0,082	0,074	0,110

Tabela VI – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 24 de julho de 2023 com REF_Velas (© IH BH 07/19).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 071		
Média (m)	-0,029	0,010	0,031
Desvio padrão (m)	0,009	0,003	0,008
2DRMS (m)	0,060	0,022	0,064

Tabela VII – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 20 de julho de 2023 com REPRAA AZGR (© IH BH 07/20).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 098		
Média (m)	-0,042	0,059	0,073
Desvio padrão (m)	0,006	0,004	0,005
2DRMS (m)	0,086	0,120	0,146

Tabela VIII – Exatidão do sistema de posicionamento no dia 22 de julho de 2023 com REF_Velas (© IH BH 07/20).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 307		
Média (m)	-0,081	0,032	0,088
Desvio padrão (m)	0,013	0,006	0,014
2RMS (m)	0,164	0,066	0,178

5.4.3. Balanço da incerteza das medições

O balanço das incertezas horizontal (THU⁸) e vertical (TVU⁹), de cada sonda, teve em consideração os parâmetros detalhados no apêndice D-3 e baseou-se no modelo preditivo implementado no software CARIS HIPS v.11.4.23, em conformidade com as especificações da OHI.

⁷ Sigla em inglês: *Distance Root Mean Square*. Considerando uma distribuição normal dos erros em X, Y, e Z, o 2DRMS corresponde a um nível de confiança de 95%.

⁸ Sigla em inglês: *Total Horizontal Uncertainty*.

⁹ Sigla em inglês: *Total Vertical Uncertainty*.

5.4.4. Avaliação da incerteza das medições

A avaliação da incerteza da medição das sondas foi realizada através da comparação dos valores das sondas reduzidas das FVS com as profundidades estimadas pelo algoritmo de modelação batimétrica *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE)¹⁰, implementado no software CARIS HIPS v.11.4.23, com resolução variável, gerado apenas com as sondas reduzidas das FPS. Neste âmbito, foram comparadas:

- Na ilha de São Jorge 30 163 223 sondas, encontrando-se 97,24 % na tolerância definida para levantamentos de ordem 1a;
- Na ilha Graciosa 4 608 780 sondas, encontrando-se 96,15 % na tolerância definida para levantamentos de ordem 1a.

5.4.5. Georreferenciação e correção das sondas

A correção e georreferenciação das sondas obedeceram ao seguinte método:

- Traçado do raio acústico associado a cada sonda, através dos datagramas de VPS;
- Cálculo da altura de água relativamente ao plano de referência vertical, através dos registos de altura de maré do marégrafo;
- Junção dos diferentes datagramas (sondas, navegação, atitude e altura de água), tendo em consideração o tempo GNSS dos diversos registos e os parâmetros de instalação e aferição dos equipamentos.

O processamento dos dados hidrográficos teve em consideração os parâmetros e correções detalhados no apêndice D-2.

5.4.6. Validação dos modelos batimétricos

A modelação batimétrica baseou-se no algoritmo CUBE implementado no software CARIS HIPS v.11.4.23, tendo sido efetuada uma análise das camadas de informação associadas aos modelos batimétricos (MB), nomeadamente:

- Densidade de sondas por nodo (*density*);
- Profundidade do nodo (*depth*);
- Confiança na estimação da profundidade (*hypothesis count* e *hypothesis strength*);
- Desvio padrão das sondas que contribuíram para a estimação da profundidade do nodo (*standard deviation*);
- Desvio padrão das sondas por nodo (*node standard deviation*);

¹⁰ O algoritmo CUBE faz uso da elevação e da incerteza total propagada para cada profundidade considerada, a fim de calcular uma ou várias hipóteses na área de interesse. As hipóteses resultantes são usadas para estimar estatisticamente a profundidade mais representativa em cada posição nodal (conforme publicação S-44 – Especificações da Organização Hidrográfica Internacional para Levantamentos Hidrográficos, edição 6.1, outubro de 2022).

- Incerteza da estimacão (*uncertainty*);
- Diferença entre a profundidade estimada e a profundidade mínima do nodo (*shoal_diff*);
- Máxima incerteza vertical admissível (MIVA);
- Diferença entre MIVA e *shoal_diff* (*Desig*).

O processamento semi-automático dos dados recorreu à visualização por áreas e perfis (*Subset Editor*):

- Rejeitando as sondas que produziam valores anómalos ou ruído nos MB;
- Designando as sondas mínimas representativas de objetos, estruturas relevantes ou de valor díspar do estimado pelo algoritmo.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos MB encontram-se detalhados no apêndice D-3.

5.4.7. Produtos finais do Levantamento Hidrográfico

Os produtos finais do LH com SMF foram dois modelos batimétricos de cobertura completa (MBCC)¹¹, criados pelo algoritmo CUBE, em formato *Caris Spatial Archive* (CSAR), próprio do software CARIS HIPS v.11.4.23, com resolução variável, que incluem as sondas designadas e em que cada nodo possui um valor de incerteza vertical associado à estimacão da profundidade, sendo selecionado o maior valor entre:

- Incerteza estimada pelo CUBE, a partir dos valores de incerteza das sondas determinados pelo modelo preditivo;
- Desvio padrão das sondas contribuintes para a estimacão da profundidade do nodo, propagado a um nível de confiança de 95 %.

6. Topografia

6.1. Estruturas

A topografia das infraestruturas portuárias do Portinho da Barra foi realizada com um recetor TRIMBLE R2 em modo DGNSS RTK através de correções recebidas via NTRIP *Client*, agregadas à estação REPRAA AZGR.

6.1.1. Controlo de qualidade

A avaliação da exatidão deste método de posicionamento baseou-se na colocação da antena GNSS no PA ☉ IH BH 07/20. As diferenças entre as coordenadas obtidas por este método e as coordenadas conhecidas do referido PA, descritas nas tabelas IX e X, permitiram concluir que as especificações do levantamento foram cumpridas.

¹¹ O modelo batimétrico de cobertura completa é otimizado para garantir a cobertura total do fundo e aglutinar *holidays* isolados (adaptado da NT.HI.01).

Tabela IX – Exatidão do sistema de posicionamento (☉ IH BH 07/20) – inicial.

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 242		
Média (m)	-0,034	0,029	0,046
Desvio padrão (m)	0,016	0,005	0,012
2DRMS (m)	0,076	0,060	0,096

Tabela X – Exatidão do sistema de posicionamento (☉ IH BH 07/20) – final.

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal	3D
N.º de comparações	1 487		
Média (m)	-0,086	0,037	0,094
Desvio padrão (m)	0,013	0,008	0,013
2DRMS (m)	0,174	0,076	0,190

6.1.2. Produtos finais do levantamento topográfico

O produto final deste levantamento foi um ficheiro *Computer Aided Design* (CAD) elaborado no software AUTOCAD v.2018, baseado na posição processada dos pontos observados.

7. Elementos de navegação

7.1. Objetos, obstruções e estruturas relevantes

Existem diversos afloramentos rochosos que não foram totalmente sondados por motivos de segurança ou por se encontrarem no limite da área de sondagem, não tendo sido possível garantir a deteção da sonda mínima.

No LH destacam-se as sondas designadas descritas nas tabelas XI e XII.

Tabela XI – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha de São Jorge.

Profundidade (m)	X (m)	Y (m)	Latitude (º)	Longitude (º)	Descrição
9,581	434 684,68	4 267 601,99	38,5544534	-27,7496070	Afloramento rochoso
6,305	430 447,39	4 270 053,59	38,5762236	-27,7984775	Afloramento rochoso
2,885	421 046,96	4 274 739,45	38,6176614	-27,9069157	Afloramento rochoso
8,882	414 250,35	4 278 905,40	38,6545679	-27,9854904	Afloramento rochoso
7,268	413 415,53	4 279 647,84	38,6611765	-27,9951759	Afloramento rochoso

Tabela XII – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha Graciosa.

Profundidade (m)	X (m)	Y (m)	Latitude (º)	Longitude (º)	Descrição
3,739	419 027,35	4 318 232,67	39,0093727	-27,9352228	Afloramento rochoso ¹²

As sondas designadas descritas nas tabelas XI e XII encontram-se representadas no apêndice I.

¹² A zona envolvente consiste num afloramento rochoso visível.

7.2. Ajudas à navegação

7.2.1. Ajudas à navegação fixas

A coordenação da AN fixa farolim Urzelina foi realizada com um recetor TRIMBLE R2 GNSS geodésico (código e fase) em modo estático. O processamento das observações GNSS foi efetuado no software TBC v.5.80, através de ajuste de rede e forçamento das coordenadas (latitude, longitude e altitude elipsoidal), através de ajustamento de rede com as estações de referência da REPRAA: AZGR e PIED.

A relação de coordenadas da AN fixa e a ficha de ponto coordenado (FPC) encontram-se detalhadas nos apêndices F-1 e F-2, respetivamente.

8. Outros elementos

8.1. Comparação com a cartografia em vigor

A comparação efetuada entre as isóbatas e as sondas mínimas dos MB e as representadas nas CEN PT343102 e PT446201, evidenciou que, embora tenham sido detetadas diferenças com impacto na representação cartográfica, apenas as situações onde a isóbata dos 20 m não está representada nas CEN poderá ter impacto na segurança da navegação esperada no local.

Os resultados obtidos encontram-se detalhados no apêndice G.

8.2. Toponímia

A toponímia utilizada na CN encontra-se atualizada.

9. Produtos finais para arquivo

Foram gerados dois MB de resolução variável (VRS¹³), de acordo com o método descrito no apêndice D-3, nos seguintes formatos:

- Ficheiros de texto, em formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), com as coordenadas (geográficas e retangulares), profundidades e incerteza;
- Ficheiros de superfície, em formato CSAR.

Foram também elaborados:

- Ficheiro de Metadados, em formato *Extensible Markup Language* (XML);
- Perfis de VPS, em formato *ASCII Sound Velocity Profile* (ASVP);
- Base de dados de perfis SVP, em formato SQLite;
- Nuvem de pontos em formato CSAR (*point cloud*);

¹³ Sigla em inglês: *Variable Resolution Surface*.

- FPC da AN fixas, em formato *Portable Document Format* (PDF);
- Ficheiro CAD da estrutura topografada, em formato DWG (extensão de ficheiro do software AUTOCAD) e *Drawing Exchange Format* (DXF), versão 2018.

10. Dados estatísticos

10.1. Trabalhos em terra

– Início dos trabalhos de campo	2023-06-27
– Fim dos trabalhos de campo.....	2023-08-02
– Dias de trabalho no campo	37
– Dias de trabalho no gabinete	22
– Estações de referência instaladas	1
– Pontos reconhecidos	4
– Dias ocupados nos trabalhos de apoio	3
– Dias ocupados na coordenação de AN.....	1

10.2. Trabalhos no mar

– Dias de sondagem efetiva	14
– Tempo efetivo de sondagem (horas:minutos)	156:42
– Tempo total de sondagem (horas:minutos)	204:16
– Tempo total de navegação (horas:minutos)	276:25
– Tempo médio diário de sondagem (horas:minutos)	14:35
– Distância percorrida em fiada (km)	1 763,63
– Velocidade média de sondagem (m/s)	3,13
– Área sondada (km ²)	164,09

10.3. Espaço em disco

– Projeto (GB).....	459,7
– São Jorge	424
– Graciosa	35,7
– Produtos finais (GB)	7,38
– São Jorge	6,74
– Graciosa	0,64

11. Diversos

11.1. Apoios

O sucesso do LH deveu-se sobretudo à resiliência e sentido de bem fazer do patrão da embarcação *Scorpion*.

Na execução deste LH salienta-se a colaboração logística prestada pelos Bombeiros Voluntários das Velas e da Câmara Municipal de Santa Cruz.

11.2. Ocorrências

As ocorrências com impactos mais significativos para a execução do LH encontra-se descritas no apêndice J.

11.3. Limitações

As principais limitações à realização deste LH encontram-se descritos no apêndice J.

12. Considerações finais

Consideram-se alcançados os objetivos do LH e cumpridas as especificações determinadas na OE 16/DT/23 e definidas nas IT HI 06/23.

O levantamento foi efetuado em segurança e teve como resultado a cobertura de uma assinalável extensão da plataforma insular das ilhas de São Jorge e da Graciosa com dados batimétricos de elevada resolução.

A Hidrógrafa do LH,

O Chefe da Brigada Hidrográfica,

Laura Sofia Neves de Sousa
Primeiro-tenente
(original assinado digitalmente)

João Duarte Ventura da Cruz
Capitão-tenente
(original assinado digitalmente)

Visto,
O Chefe da Divisão de Hidrografia,

Visto,
O Diretor Técnico,

Carlos Rúbrio Videira Marques
Capitão-de-fragata
Engenheiro Hidrógrafo
(original assinado digitalmente)

João Paulo Delgado Vicente
Capitão-de-mar-e-guerra
(original assinado digitalmente)

REFERÊNCIAS

- Direção Geral do Território (DGT), 2023. *Sistemas de Referência*. [Online] Disponível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/geodesia/sistemas-referencia> [Consultado em 28 de junho de 2023].
- IH, 2010. Publicação Náutica (PN) 07, *Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores*, Volume II – Grupo Central, 3.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, 2012. CN 46201, *Canal de São Jorge (Ilha de São Jorge e Pico)*, 2.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, 2011. CN 46404, *Ilha Graciosa*, 1.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, 2010 CN 47501, *Portos das Ilhas de São Jorge e do Pico*, 1.^a Edição Lisboa: IH.
- IH, 2020. REL TF HI 03/20, *Levantamentos Topo-hidrográfico no Arquipélago dos Açores*. Lisboa: IH.
- IH, 2019. REL TF HI 13A/19 – VOL. II, *Levantamento Topo-hidrográfico no Arquipélago dos Açores*. Lisboa: IH.
- IH, 2020. PN 35, *Ajudas à Navegação – Lista de Luzes*, Volume I – Portugal, 12.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, 2022. PN 40, *Tabela de Marés – 2023*, Volume I – Portugal. Lisboa: IH.
- IH, 2023. Base de Dados de PA e MN. Lisboa: IH.
- Kongsberg Maritime¹⁴ (KM), 2017. *EM 2040C Datasheet*. Noruega: KM.
- KM, 2018. *MRU 5+ Datasheet*. Noruega: KM.
- KM, 2019. *Seapath 130 Datasheet*. Noruega: KM.
- Google Earth, 2023. *Açores – Grupo Central*. [Online] Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth> [Consultado em 26 de junho de 2023].
- OHI, 2022. Publicação Especial n.º 44 (S-44), *Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos*, edição 6.1. [Online] Disponível em: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Edition_6.1.0.pdf [Consultado em 28 de junho de 2023].
- Trimble, 2018. *Trimble R9s GNSS Receiver Datasheet*. EUA: Trimble.
- Trimble, 2019. *Trimble R2 GNSS Receiver Datasheet*. EUA: Trimble.

¹⁴ Kongsberg Maritime: <http://www.km.kongsberg.com>.

APÊNDICES

APÊNDICE B
ESQUEMA DA ÁREA SONDADA

1. Área sondada

A área sondada neste levantamento encontra-se ilustrada nas figuras B-1 e B-2 (escala de profundidades em metros).

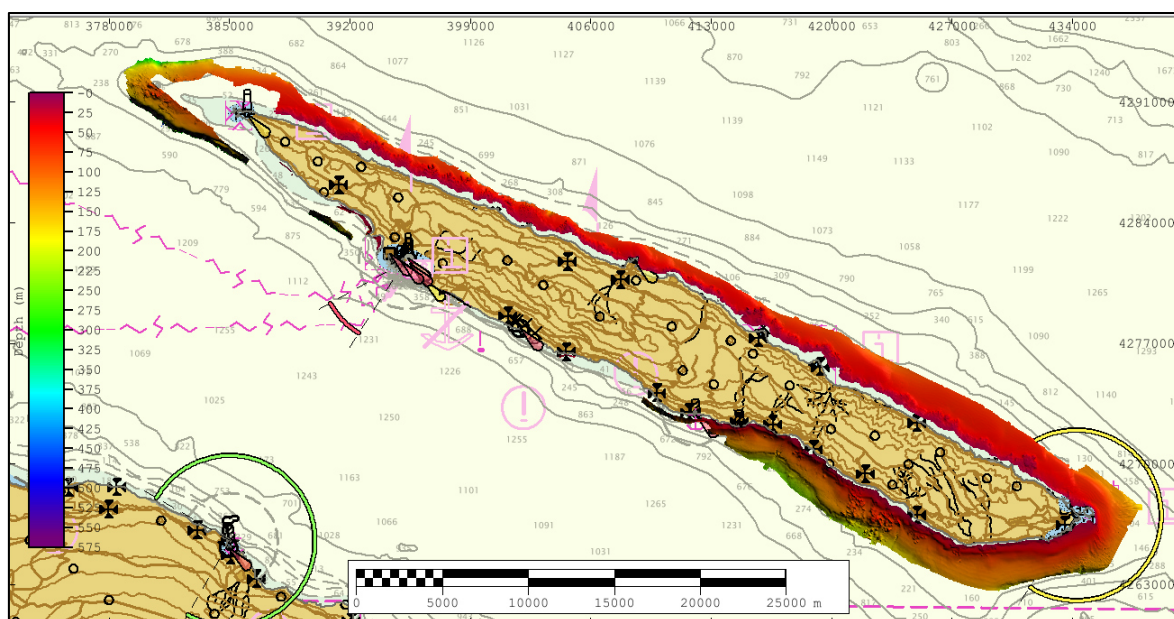


Figura B-1 – Esquema da área sondada na ilha de São Jorge.

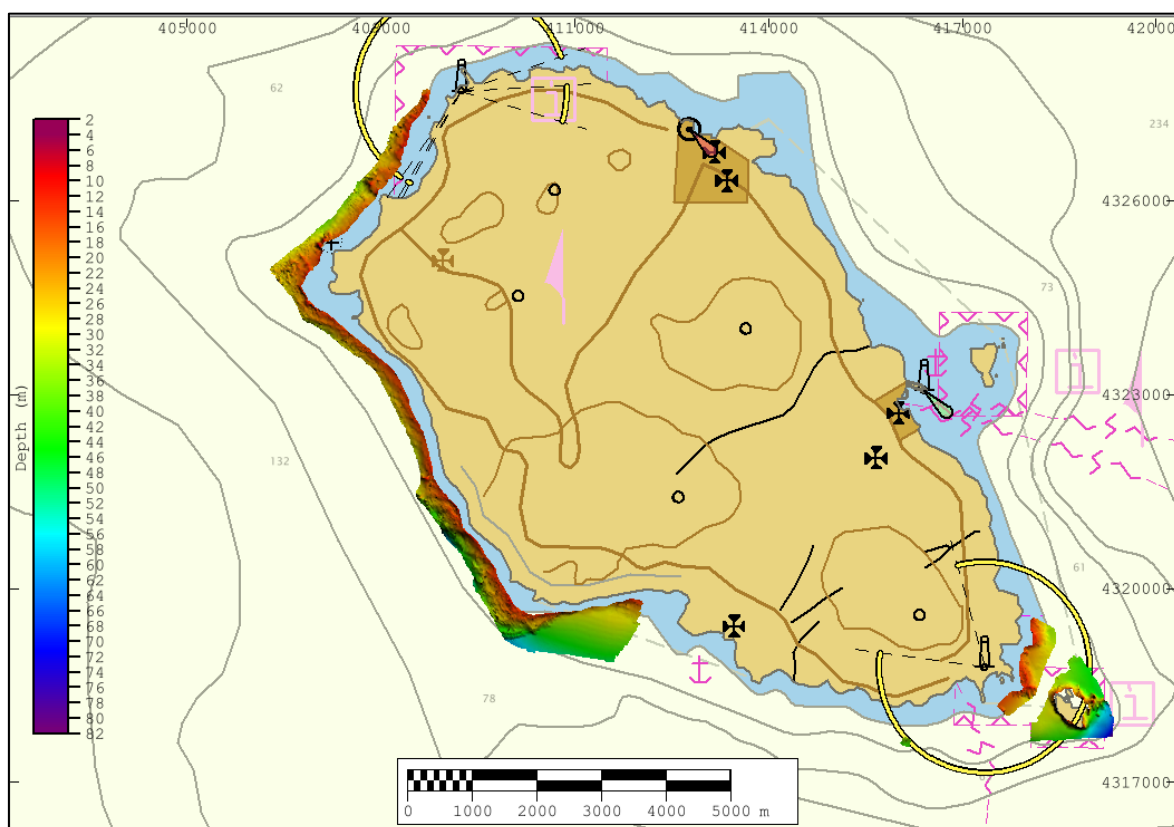


Figura B-2 – Esquema da área sondada na ilha Graciosa.

APÊNDICE C

RELAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS DE APOIO



RELAÇÃO DE COORDENADAS

A Hidrógrafa do Levantamento,

Pontos de apoio e hidrográficos ☒ **Ajudas à navegação** ☐ **Outros** ☐

Local: Ilha de São Jorge

Relatório: REL TF HI 06 VOL. 2

FPC	Designação	PTRA08-UTM26N/ITRF93				Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica NMA (m)	Altitude Ortométrica GeodAz2014 (m)	Observações
		Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)				
¹	⊙ IH BH 08/2019	38° 40' 49,15168" N	028° 12' 11,14649" W	395 352,929	4 281 989,023	60,413	1,946	2,197	PA3D
²	⊙ IH BH 07/2019	38° 40' 49,07765" N	028° 12' 11,36288" W	395 347,671	4 281 986,810	60,387	1,917	2,171	PA3D
	⊙ REF_Velas	38° 40' 59,61810" N	028° 12' 44,21935" W	394 558,079	4 282 322,180	110,073	-	51,886	PA2D

¹ REL TF HI 13A/09 Vol.II

² Id.



RELAÇÃO DE COORDENADAS

A Hidrógrafa do Levantamento,

Pontos de apoio e hidrográficos ☒ Ajudas à navegação ☐ Outros ☐

Local: Ilha Graciosa

Relatório: REL TF HI 06 VOL. 2

FPC	Designação	PTRA08-UTM26N/ITRF93				Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica NMA (m)	Altitude Ortométrica GeodAz2014 (m)	Observações
		Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)				
³	⊙ IH BH 07/20	39° 05' 01,40901" N	027° 59' 50,52854" W	413 737,036	4 326 541,049	60,713	1,943	1,987	MN
⁴	⊙ IH BH 06/20	39° 05' 01,89938" N	027° 59' 49,80690" W	413 754,540	4 326 555,975	60,428	1,641	1,703	PA3D

³ REL TF HI 03/20

⁴ REL TF HI 03/20

APÊNDICE F-1

RELAÇÃO DE COORDENADAS DAS AJUDAS À NAVEGAÇÃO FIXAS

**RELAÇÃO DE COORDENADAS**

A Hidrógrafa do Levantamento,

Pontos de apoio e hidrográficos ☐ **Ajudas à navegação** ☒ Outros ☐**Local:** Ilha de São Jorge - Urzelina**Relatório:** REL TF HI 06/23 VOL.2

FPC	Designação	PTRA08-UTM26N/ITRF93				Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica NMA (m)	Altitude Ortométrica GeodAz14 (m)	Observações
		Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)				
X	Farolim Urzelina	38° 38' 40,08046" N	028° 07' 39,49427" W	401 867,728	4 277 926,976	67,665	NO	9,356	NIL

APÊNDICE I

OBJETOS, OBSTRUÇÕES, ESTRUTURAS RELEVANTES
E PROFUNDIDADES MÍNIMAS

1. **Objetos, obstruções e estruturas relevantes**

Existem diversos afloramentos rochosos que não foram totalmente sondados por motivos de segurança ou por se encontrarem no limite da área de sondagem, não tendo sido possível garantir a detecção da sonda mínima.

No LH da ilha de São Jorge destacam-se as sondas designadas descritas na tabela I-I e ilustradas nas figuras I-1 a I-6.

Tabela I-I – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha de São Jorge.

ID	Profundidade (m)	X (m)	Y (m)	Latitude (º)	Longitude (º)	Descrição
A	9,581	434 684,68	4 267 601,99	38,5544534	-27,7496070	Afloramento rochoso
B	6,305	430 447,39	4 270 053,59	38,5762236	-27,7984775	Afloramento rochoso
C	2,885	421 046,96	4 274 739,45	38,6176614	-27,9069157	Afloramento rochoso
D	8,882	414 250,35	4 278 905,40	38,6545679	-27,9854904	Afloramento rochoso
E	7,268	413 415,53	4 279 647,84	38,6611765	-27,9951759	Afloramento rochoso

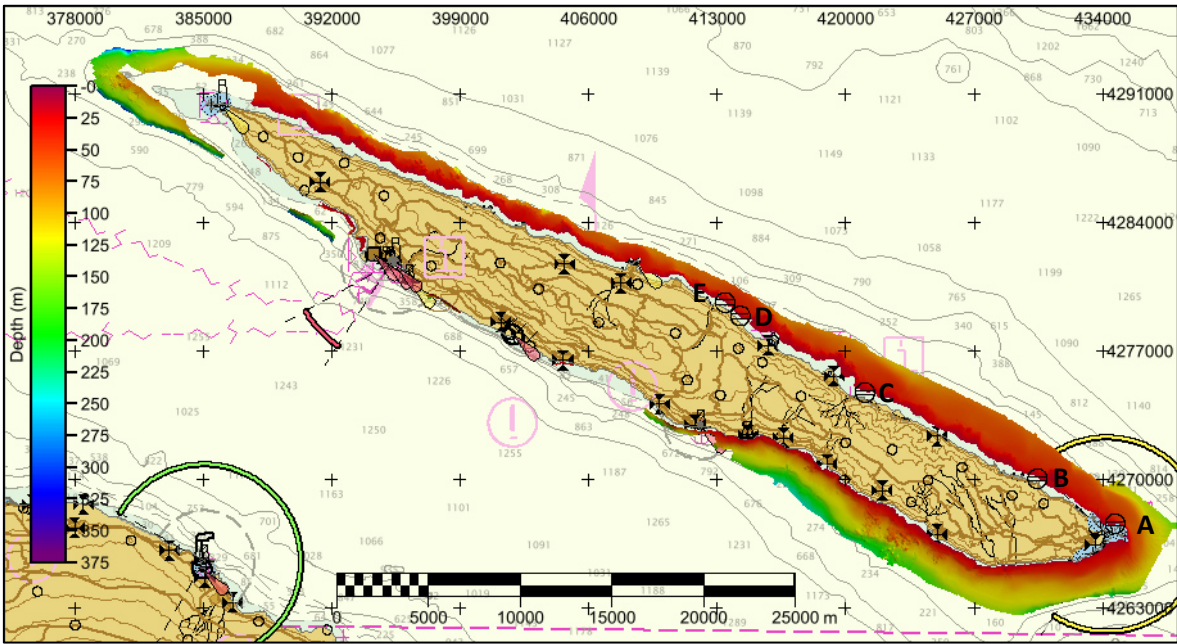


Figura I-1 – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha de São Jorge.

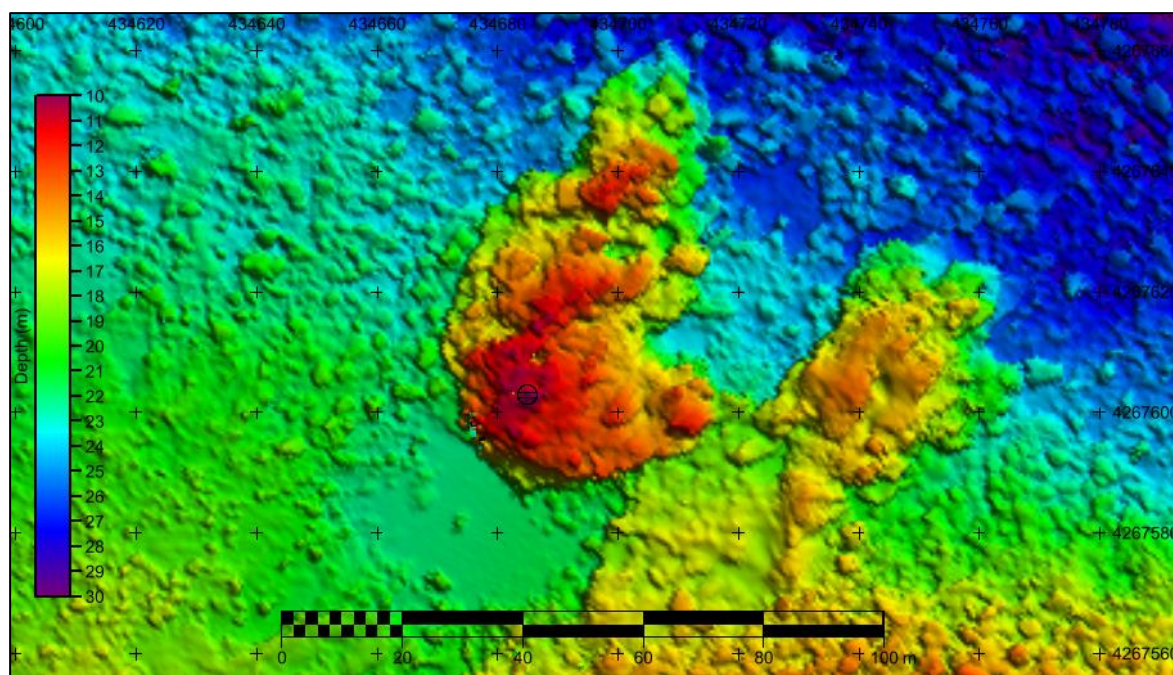


Figura I-2 – Detalhe da estrutura rochosa “A” a nordeste da ilha de São Jorge.

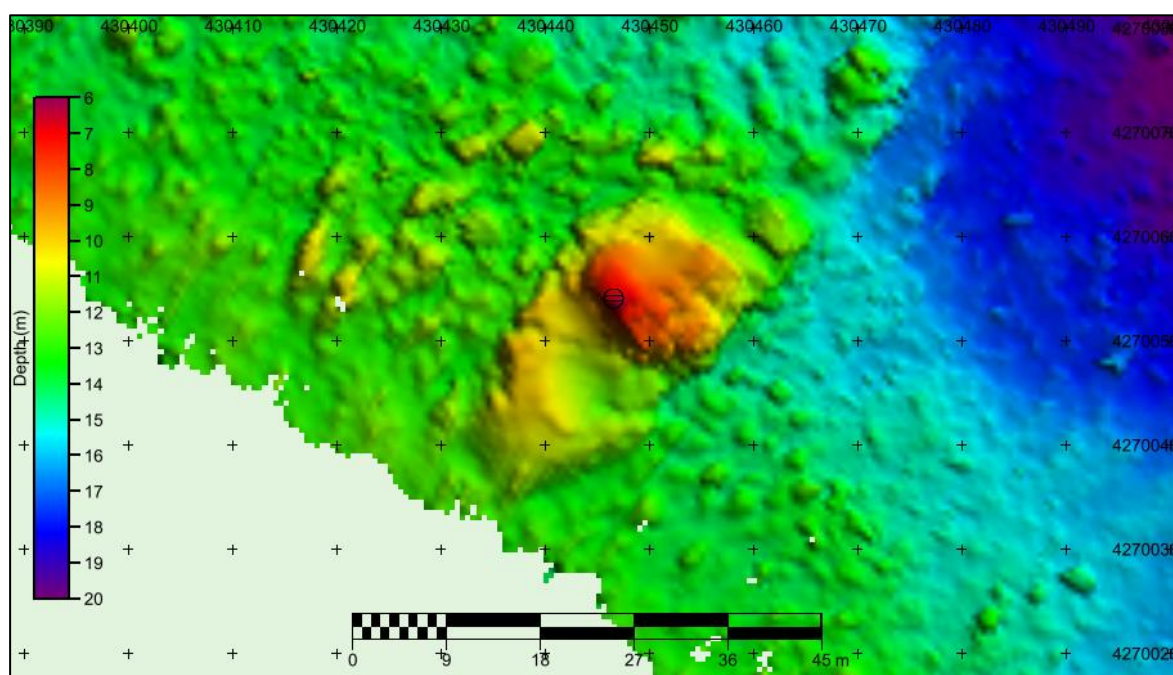


Figura I-3 – Detalhe da estrutura rochosa “B” a nordeste da ilha de São Jorge.

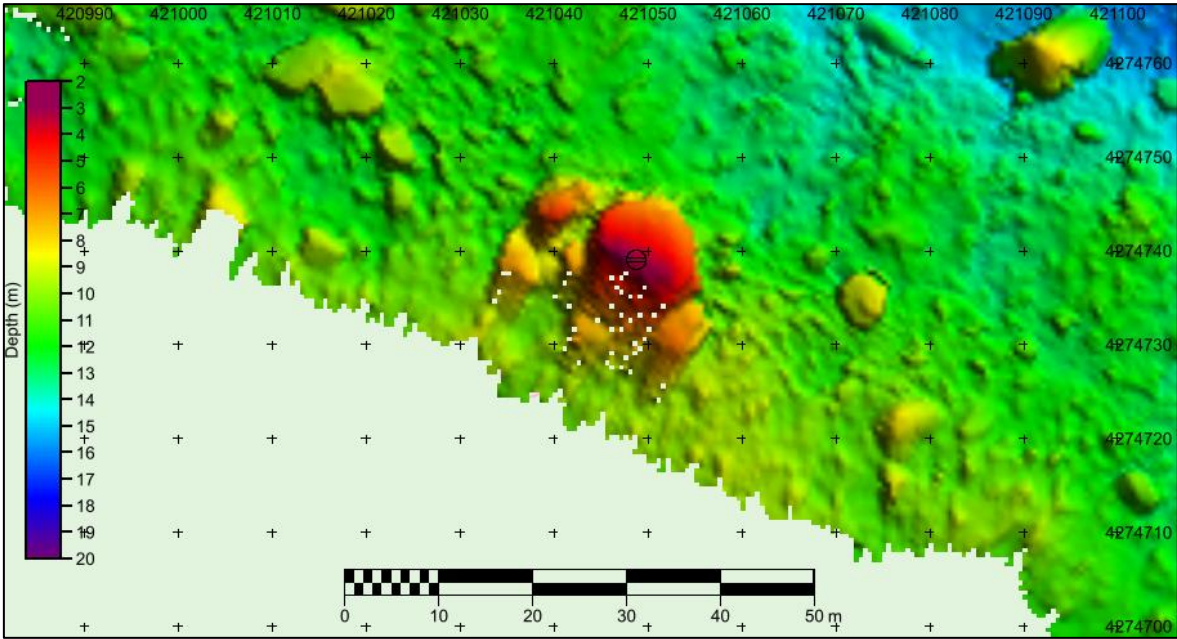


Figura I-4 – Detalhe da estrutura rochosa “C” a norte da ilha de São Jorge.

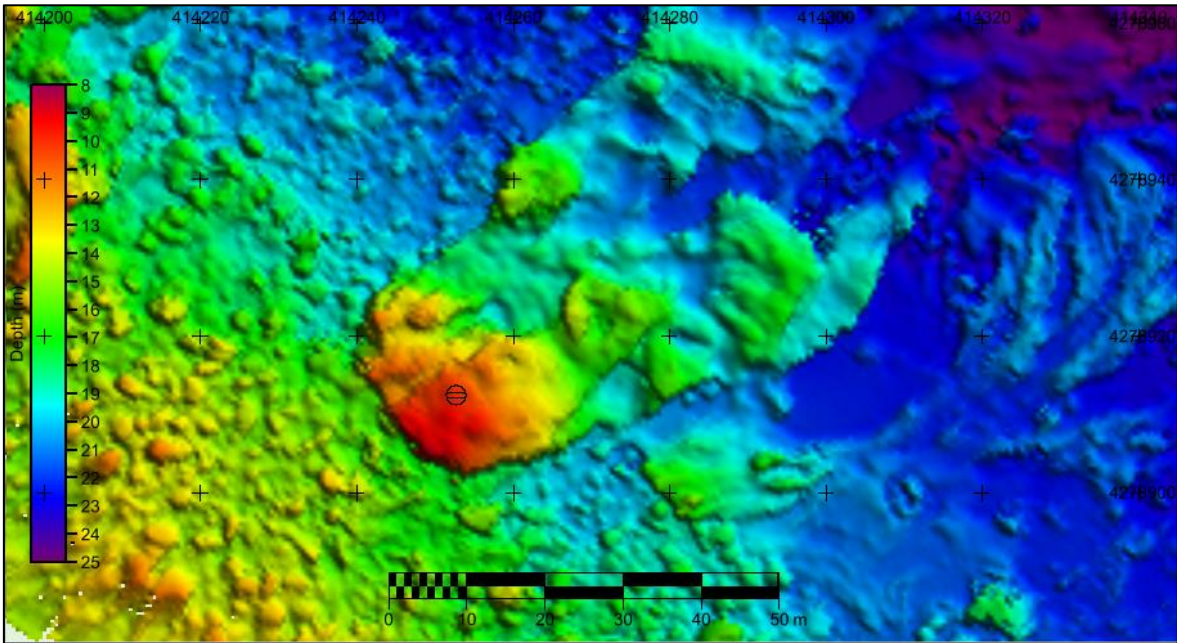


Figura I-5 – Detalhe da estrutura rochosa “D” a norte da ilha de São Jorge.

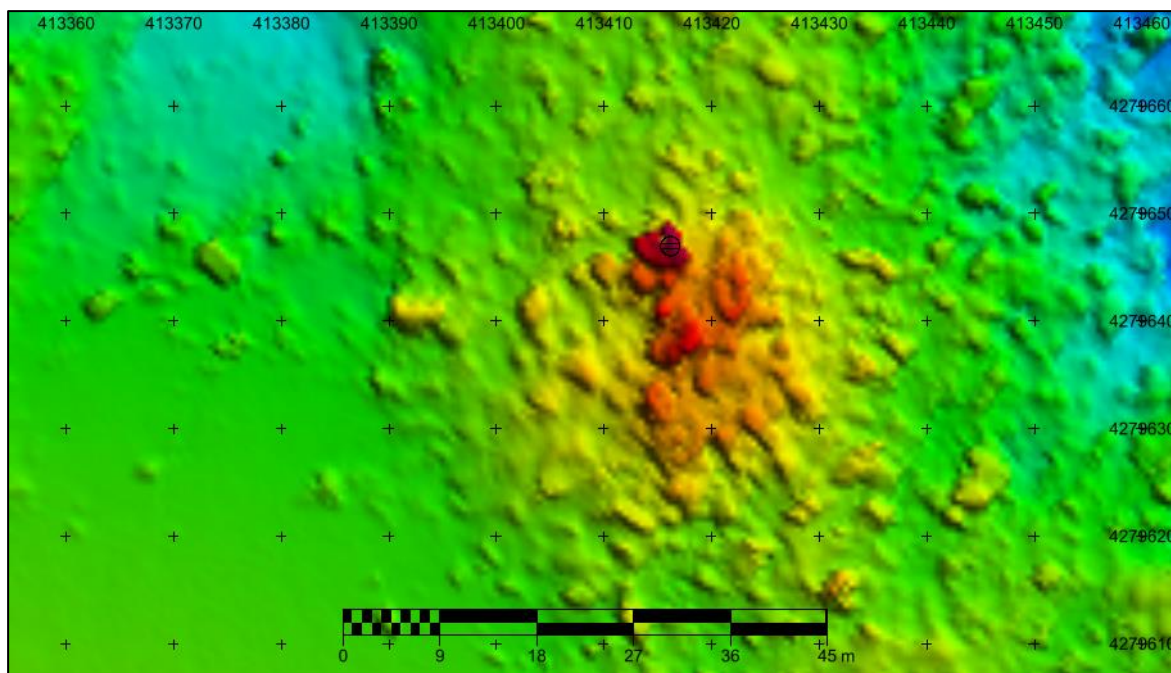


Figura I-6– Detalhe da estrutura rochosa “E” a norte da ilha de São Jorge.

No LH da ilha Graciosa destaca-se a sonda designada descrita na tabela I-II e ilustrada nas figuras I-7 e I-8.

Tabela I-II – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha Graciosa.

ID	Profundidade (m)	X (m)	Y (m)	Latitude (°)	Longitude (°)	Descrição
A	3,739	419 027,35	4 318 232,67	39,0093727	-27,9352228	Afloramento rochoso ¹

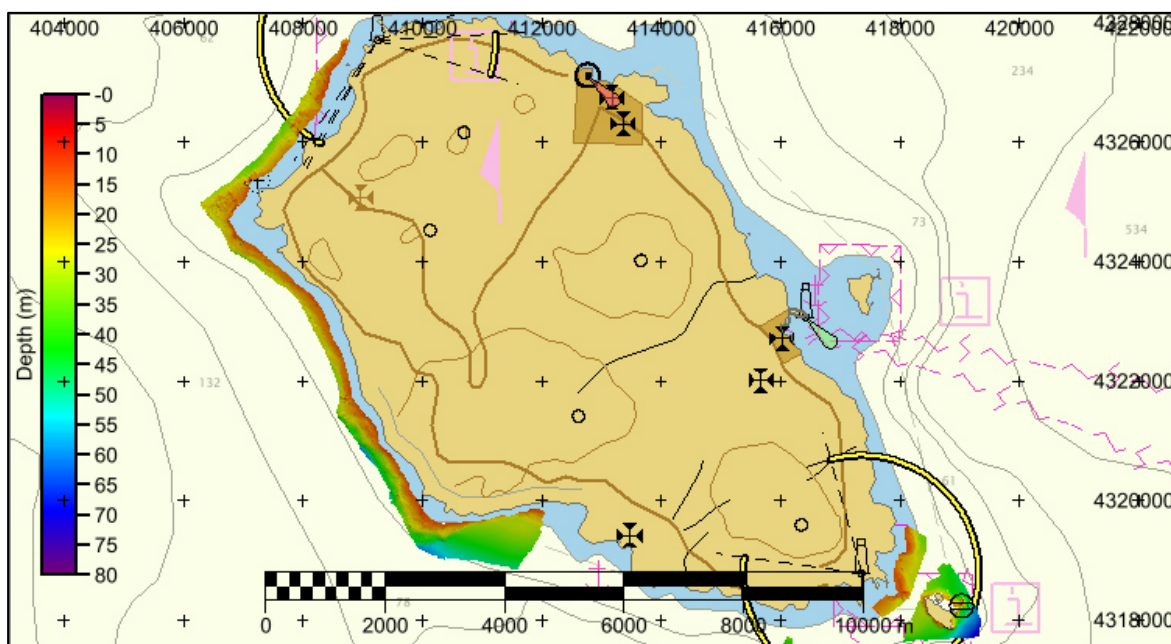


Figura I-7 – Objetos, obstruções e estruturas relevantes na ilha Graciosa.

¹ A zona envolvente consiste num afloramento rochoso visível.

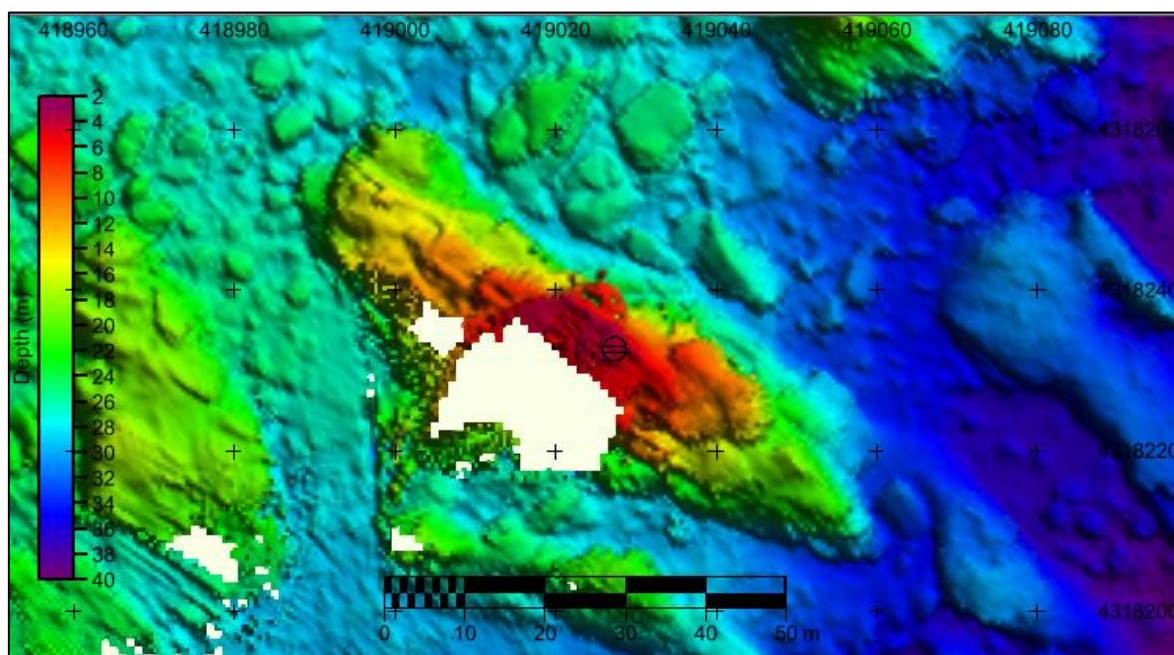


Figura I-8 – Detalhe da estrutura rochosa “A” junto ao ilhéu de Baixo.