

BRIGADA HIDROGRÁFICA
ELEMENTO HI41LH01
RELATÓRIO TÉCNICO FINAL
REL TF HI 11/21
**LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NO
ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES**
2021-07-26 A 2021-09-02

2021-11-16

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 checked="" type="checkbox"/> PERMANENTE <input type="checkbox"/> ____ ANOS		DESCCLASSIFICAÇÃO Nada a referir DISTRIBUIÇÃO/DISPONIBILIDADE DO RELATÓRIO GRA, DD, HI, BH
AUTOR(ES) Segundo-tenente Murta Cunha Primeiro-tenente Teixeira de Carvalho Primeiro-tenente Neves de Sousa Capitão-de-fragata Pinto da Silva		AUTOR INSTITUCIONAL Instituto Hidrográfico Brigada Hidrográfica
TÍTULO DO RELATÓRIO Levantamento hidrográfico no arquipélago dos Açores		
TIPO DE RELATÓRIO Técnico Final	DESIGNAÇÃO DO RELATÓRIO REL TF HI 11/21	ELEMENTO E ANO HI41LH01 2021
PERÍODO DE EXECUÇÃO 2021-07-26 a 2021-09-02	DATA DO RELATÓRIO 2021-11-16	N.º DE FOLHAS 136
NOTAS 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.		
RESUMO O levantamento hidrográfico no arquipélago dos Açores decorreu da cooperação com o Governo Regional dos Açores e teve como objetivo obter informação hidrográfica para apoio ao processo de Ordenamento do Espaço Marítimo dos Açores e para atualização cartográfica. No levantamento hidrográfico utilizaram-se as embarcações de sondagem <i>Mergulhão</i> e <i>Gaivota</i> equipadas com o sistema sondador multifeixe KONGSBERG EM 2040C. O posicionamento horizontal foi assegurado por DGNS RTK e vertical por marégrafos. Foram efetuados levantamentos de ordem 1a entre os 10 e os 200 m de profundidade ao largo do Pico.		
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 do Pico Levantamentos costeiros
DATA DE EDIÇÃO novembro de 2021		

NÃO CLASSIFICADO

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO

N.º	DISTRIBUIÇÃO INTERNA	DISTRIBUIÇÃO EXTERNA	FORMATO
1		GRA	PAPEL / PDF
2	DD		PAPEL
3	HI		PDF
4	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. <i>Datum</i>	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
3.2.3. Modelo do geoide	3
4. Rede local.....	3
4.1. Estações de referência.....	3
4.2. Pontos de apoio	3
4.3. Nivelamentos.....	3
4.3.1. Nivelamentos geométricos.....	3
5. Hidrografia	4
5.1. Esquema de cobertura	4
5.2. Maré.....	5
5.2.1. Redução de maré	5
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.....	6
5.3.4. Controlo e gravação da informação hidrográfica.....	6
5.4. Processamento de dados SMF	7
5.4.1. Preparação e análise dos datagramas.....	7
5.4.2. Exatidão do sistema de posicionamento	7

5.4.3. Balanço da incerteza das medições	8
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	9
5.4.7. Coluna de água	9
5.4.8. Produtos finais.....	10
6. Topografia	10
6.1. Estruturas	10
6.1.1. Produtos finais.....	10
7. Elementos de navegação	10
7.1. Objetos, obstruções e estruturas relevantes	10
7.2. Profundidades mínimas	10
8. Outros elementos	11
8.1. Comparação com a cartografia em vigor.....	11
8.2. Toponímia.....	11
9. Produtos finais.....	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	12
11.1. Apoios.....	12
11.2. Limitações.....	12
12. Conclusões.....	14
REFERÊNCIAS.....	15

TABELAS

Tabela I – Marcas utilizadas no nivelamento geométrico no cais dos pescadores nas Lajes do Pico.	4
Tabela II – Marcas utilizadas no nivelamento geométrico em São Roque do Pico.	4
Tabela III – Localização dos marégrafos.....	5
Tabela IV – Exatidão do sistema de posicionamento <i>Mergulhão</i> com RePRAA HORT (© IH BH 15/2015).	7
Tabela V – Exatidão do sistema de posicionamento <i>Mergulhão</i> com RePRAA QEMD (© IH BH 15/2015).	7
Tabela VI – Exatidão do sistema de posicionamento <i>Gaivota</i> com RePRAA AZTP (© IH BH 15/2015).	8

Tabela VII – Exatidão do sistema de posicionamento <i>Gaivota</i> com RePRAA HORT (© IH BH 15/2015).	8
Tabela VIII – Profundidades mínimas.	11

APÊNDICES

Apêndice A-1	Equipa do Levantamento (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice A-2	Equipamento do Levantamento (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice B	Esquema da Área Sondada
Apêndice C-1	Relação de Coordenadas dos Pontos de Apoio
Apêndice C-2	Fichas de Ponto Coordenado dos Pontos de Apoio (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice D-1	Parâmetros de Aquisição dos Dados Hidrográficos (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice D-2	Modelação Batimétrica (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice E-1	Maré (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice E-2	Fichas de Instalação de Marégrafo (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice F	Esquema de Nivelamento (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice G	Comparação com a Cartografia em Vigor (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice H	Velocidade de Propagação do Som (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice I	Coluna de Água
Apêndice J	Limitações (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)
Apêndice k	Recomendações (apenas nos exemplares n.º 2 a 4)

ANEXOS

Anexo A	Ordem de Execução e Instruções Técnicas (apenas nos exemplares 2 a 4)
---------	--

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Ar Condicionado
ANAC	Avaliação da Necessidade de Atualização Cartográfica
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASVP	Ascii Sound Velocity Profile
AZGR	Estação RePRAA da Graciosa
AZTP	Estação RePRAA da Terra do Pão (Pico)
BD	Base de Dados
BH	Brigada Hidrográfica
CARIS HIPS	Computer Aided Resource Information System Hydrographic Information Processing System
CBH	Chefe Brigada Hidrográfica
CEN	Carta Eletrónica de Navegação
CN	Carta Náutica
CW	Continuous Wave
CSAR	Caris Spatial Archive
CUBE	Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator
DF	Divisão Financeira do Instituto Hidrográfico
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
EMN	Esquema de Nivelamento
FIM	Ficha de Instalação de Marégrafo
FPC	Ficha de Ponto Coordenado
FPS	Fiada Principal de Sondagem
FVS	Fiada de Verificação de Sondagem
GeodAz14	Modelo do Geoide GeodAz14
GeoTIFF	Geospatial Tagged Image File Format
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRA	Governo Regional dos Açores
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HORT	Estação RePRAA da Horta
HI	Divisão de Hidrografia do Instituto Hidrográfico
IH	Instituto Hidrográfico
IT	Instruções Técnicas
ITRF93	International Terrestrial Reference Frame 1993
KM	Kongsberg Maritime
KMZ	Keyhole Markup Language Zipped

LG	Leica Geosystems
LH	Levantamento Hidrográfico
LT	Levantamento Topográfico
LTH	Levantamento Topo-Hidrográfico
MB	Modelo Batimétrico
MBCC	Modelo Batimétrico de Cobertura Completa
MIVA	Máxima Incerteza Vertical Admissível
MN	Marca de Nivelamento
MRU	Motion Reference Unit
NG	Nivelamento Geométrico
NMA	Nível Médio Adotado
NTRIP	Network Transport of RTCM via Internet Protocol
OC	Divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico
OE	Ordem de Execução
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
PA	Ponto de Apoio
PDF	Portable Document Format
QEMD	Estação RePRAA da Queimada
RADAR	Radio Detection And Ranging
REF	Estação de Referência
REL TF	Relatório Técnico Final
RePRAA	Rede de Estações Permanentes da Região Autónoma dos Açores
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RMS	Root Mean Square
RP	Reference Point
RTK	Real-Time Kinematic
SIS	Seafloor Information System
SMF	Sondador Multifeixe
SVP	Sound Velocity Profiler
TBC	Trimble Business Center
TERC	Estação RePRAA da Terceira
TIN	Triangular Irregular Network
THU	Total Horizontal Uncertainty
TVU	Total Vertical Uncertainty
UPS	Uninterruptible Power Supply
VPS	Velocidade de Propagação do Som
XML	Extensible Markup Language

BRIGADA HIDROGRÁFICA
ELEMENTO HI41LH01
RELATÓRIO TÉCNICO FINAL
REL TF HI 11/21

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES

2021-07-26 A 2021-09-02

1. Introdução

A Brigada Hidrográfica (BH), em cumprimento da Ordem de Execução (OE) 35/DT/21 de 16 de julho de 2021 e de acordo com as Instruções Técnicas (IT) 11/21 da Divisão de Hidrografia (HI) do Instituto Hidrográfico (IH), reproduzidas no anexo A, realizou, no período de 26 de julho a 02 de setembro de 2021, um levantamento hidrográfico (LH) no arquipélago dos Açores, na ilha do Pico.

As equipas envolvidas e o equipamento utilizado 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 três marégrafos, nos principais portos da ilha do Pico (São Roque do Pico, Madalena e Lajes do Pico).
- Coordenação de pontos de apoio (PA) e de marcas de nivelamento (MN);
- Nivelamentos geométricos (NG).

O LH em volta da ilha do Pico compreendeu a classificação de ordem 1a¹.

O levantamento topográfico (LT) incluiu os seguintes trabalhos:

- Delineação de infraestruturas portuárias.

Este LH decorreu da cooperação com o Governo Regional dos Açores (GRA) e teve como objetivo obter informação hidrográfica para apoio ao processo de Ordenamento do Espaço Marítimo dos Açores e para atualização cartográfica.

2. Elementos de planeamento

2.1. Cartografia em vigor

A área do levantamento encontra-se representada nas cartas náuticas (CN):

- 46201 – Canal de São Jorge (ilhas de São Jorge e Pico), 2ª edição, novembro de 2012;
- 46403 – Ilha do Faial e Canal do Faial, 2ª edição, novembro de 2016.

¹ Conforme publicação S-44 – *Especificações da Organização Hidrográfica Internacional para Levantamentos Hidrográficos*, 6.ª edição, setembro de 2020.

A área do levantamento encontra-se representada nas cartas eletrónicas de navegação (CEN):

- PT446201 – Canal de São Jorge (ilhas de São Jorge e Pico);
- PT446403 – Arquipélago dos Açores – Ilha do Faial e Canal do Faial.

2.2. Resumo histórico

Os últimos levantamentos realizados nesta área decorreram:

- De 22 de junho a 10 de agosto, Relatório Técnico Final (REL TF) HI 03/20, Levantamento Topo-Hidrográfico (LTH) no Arquipélago dos Açores, edição de janeiro de 2021;
- De 10 de julho a 21 de agosto, REL TF HI 13A/19 – Vol. II, LTH no Arquipélago dos Açores, edição de novembro de 2021;
- De 28 de maio a 25 de junho, REL TF HI 11/18, edição de maio de 2020;
- De 29 de junho a 28 de julho, REL TF HI 10/15, edição de setembro de 2015.

2.3. Reconhecimento

O reconhecimento terrestre da ilha do Pico foi efetuado no dia 14 de junho de 2021, tendo-se identificado as facilidades logísticas disponíveis, bem como a existência de PA de trabalhos anteriores que servissem de apoio ao estabelecimento da rede local para este LH. Foram também contactadas as entidades locais, nomeadamente os Portos dos Açores e o Delegado Marítimo de São Roque do Pico.

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 (EPSG: 5015).

3.2. Referência vertical

3.2.1. Zero Hidrográfico

As profundidades encontram-se referidas ao zero hidrográfico, situado no local 1,00 m abaixo do Nível Médio Adotado (NMA) no Arquipélago dos Açores.

3.2.2. Nível Médio Adotado

Na coordenação de PA e na topografia foi utilizado como plano de referência o NMA no Arquipélago dos Açores.

3.2.3. Modelo do geoide

Na redução da altitude elipsoidal à altitude ortométrica foram utilizados dados de maré observada, uma vez que não se considerou adequado o modelo do geoide GeodAz2014.

4. Rede local

4.1. Estações de referência

Foram utilizadas as estações de referência (REF) da Terra do Pão (AZTP), da Horta (HORT) e da Queimada (QEMD) da Rede de Estações Permanentes da Região Autónoma dos Açores (REPRAA) para garantir o posicionamento horizontal da embarcação de sondagem recorrendo a *Differential Global Navigation Satellite System* (DGNSS) *Real-Time Kinematic* (RTK).

A relação de coordenadas dos pontos de apoio encontra-se detalhada no apêndice C-1.

4.2. Pontos de apoio

Foram coordenados/reobservados oito PA3D, com um recetor TRIMBLE R2 em modo DGNSS estático. O processamento das observações GNSS foi efetuado no software *Trimble Business Center* (TBC) v.5.40, através de ajuste de rede e forçamento das coordenadas (latitude, longitude e altitude elipsoidal), utilizando as estações de referência da RePRAA: Graciosa (AZGR), Terceira (TERC), QEMD, HORT.

A relação de coordenadas dos PA e as respetivas fichas de ponto coordenado (FPC) encontram-se nos apêndices C-1 e C-2, respetivamente.

4.3. Nivelamentos

4.3.1. Nivelamentos geométricos

Foram realizados dois NG com um nível digital LEICA DNA03, efetuando quatro leituras por estação (atrás, à frente, à frente, atrás) e processamento no software LEICA INFINITY v.3.4.3.

- Na cabeça do molhe no cais dos pescadores nas Lajes do Pico, para extensão do NG até ao marégrafo, entre as MN ☉ IH BH 41/09 e ☉ IH BH 16/21: comprimento

do percurso 16,16 m, incluindo o contra-nivelamento; erro de fecho 0,0001 mm².

As MN utilizadas no percurso de nivelamento encontram-se descritas na tabela I;

- Em São Roque, desde o muro da rampa em frente ao posto da GNR até aos cais dos pescadores, entre as MN ⊙ RN1 e ⊙ IH BH 17/21: comprimento do percurso 1 347 m, incluindo o contra-nivelamento; erro de fecho -0,0005 mm³. As MN utilizadas no percurso de nivelamento encontram-se descritas na tabela II;

Tabela I – Marcas utilizadas no nivelamento geométrico no cais dos pescadores nas Lajes do Pico.

Marca	Descrição	Altitude Ortométrica (m)
⊙ IH BH 41/09	Taco em latão com a inscrição “IH BH 41/09”, cimentado no pavimento a este da cabeça do cais.	2,290
⊙ IH BH 16/21	Taco em latão com a inscrição “IH BH 16/21”, cimentado no pavimento, no vértice nordeste do cais.	2,211

Tabela II – Marcas utilizadas no nivelamento geométrico em São Roque do Pico.

Marca	Descrição	Altitude Ortométrica (m)
⊙ RN1	Taco em latão com a inscrição RN1, implantado no muro da rampa em frente ao posto da GNR de São Roque do Pico.	7,508
⊙ IH BH 15/2015	Taco em latão com a inscrição IH BH 15/2015, cimentado no pavimento do cais dos pescadores, junto às escadas de acesso ao mar.	2,178
⊙ IH BH 18/21	Taco em latão com a inscrição IH BH 18/21, cimentado no pavimento do cais dos pescadores, no vértice após da grua junto ao cabeço de amarração.	2,180
⊙ IH BH 17/21	Taco em latão com a inscrição IH BH 17/21, cimentado no pavimento na cabeça do cais dos pescadores, junto ao cabeço de arrumação.	2,206

Os esquemas de nivelamento (EMN) encontram-se detalhados no apêndice F.

5. Hidrografia

5.1. Esquema de cobertura

O LH de ordem 1a foi efetuado com um sistema sondador multifeixe (SMF) e as seguintes características:

- Fiadas principais de sondagem (FPS) com direção paralela à batimetria;
- Sobreposição no mínimo de 10 % entre FPS adjacentes;
- Fiadas de verificação de sondagem (FVS) com espaçamento médio inferior a 20 vezes o espaçamento médio das FPS;
- Modelo batimétrico de cobertura completa (MBCC).

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

² O erro de fecho cumpre a equação $N - N' \leq 4\sqrt{L(km)} (mm)$, definida nas normas em vigor, onde: N (cota obtida no nivelamento), N' (cota obtida no contra nivelamento) e L (comprimento do percurso, incluindo o contra nivelamento).

³ Id

5.2. Maré

5.2.1. Redução de maré

A redução da sondagem foi efetuada através dos dados dos marégrafos de *Radio Detection And Ranging* (RADAR) instalados nas MN ☉ IH BH 16/21 e IH BH 40/09, conforme descrito na tabela III.

Com os dados dos dois marégrafos foi criado um ficheiro *Tide Zone* para a área do LH.

No anexo E-1 encontra-se pormenorizada a análise dos dados dos marégrafos instalados na área do LH.

Tabela III – Localização dos marégrafos.

Designação	Localização	Período de Observação
☉ IH BH 16/21	Lajes do Pico	2021-07-27 a 2021-08-23
☉ IH BH 40/09	Madalena	2021-07-27 a 2021-08-23

As fichas de instalação de marégrafo (FIM) encontram-se detalhadas no apêndice E-2.

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 *Mergulhão*, com o SMF KONGSBERG EM 2040C a operar na frequência de 300 kHz e com uma imersão do transdutor de 0,618 m e com a embarcação *Gaivota*, igualmente equipada com o SMF KONGSBERG EM 2040C (frequência 300 kHz) e com uma imersão de 0,617 m.

Os parâmetros de instalação e aferição dos 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 e atitude (*heave*, *roll*, *pitch* e *heading*⁴) das embarcações de sondagem *Mergulhão* e *Gaivota*, referidos ao seu ponto de referência (RP⁵), foi assegurada pelos módulos SEAPATH 380, com base na informação do sensor inercial KONGSBERG SEATEX *Motion Reference Unit* (MRU) 5, das duas antenas GNSS NOVATEL GPS-713-GGG-N e NOVATEL GPS-702-GG-N-SEA e das correções DGNSS RTK, recebidas através de *Network Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP) agregadas às estações da REPRAA.

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

⁴ Designações em inglês: arfagem, balanço, cabeceio e proa.

⁵ Sigla em inglês: *Reference Point*.

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* AML MICRO-X SV, com uma taxa de 1 Hz, permitindo o guiamento dos feixes do SMF;
- Ao longo da coluna de água com perfiladores (SVP⁶) AML-3 LGR e AML Minos-X, 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, foi adquirido um perfil através do 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 e correntes de maré).

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

5.3.4. 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:

- As profundidades medidas foram corrigidas dos dados de atitude das embarcações 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 a 20 % entre FPS adjacentes. Esta cobertura garantiu a cobertura completa do fundo e permitiu cumprir as especificações requeridas para levantamentos de ordem 1a, conforme definido na publicação S-44, 6ª edição de setembro de 2020 da Organização Hidrográfica Internacional (OHI);
- A aquisição de dados foi efetuada no modo de transmissão de impulso CW⁷ e de formação de feixes *Equidistant High Density*⁸, permitindo a aquisição de 400 sondas, no sentido bombordo-estibordo (*across-track*), por impulso transmitido;
- A velocidade das embarcações de sondagem foi adaptada em função da profundidade, garantindo a busca total do fundo no sentido proa-popa (*along-track*). A velocidade média para a lancha hidrográfica *Mergulhão* foi de 2,97 m/s e

⁶ Sigla em inglês: *Sound Velocity Profiler*.

⁷ Sigla em inglês: *Continuous Wave*.

⁸ Designação em inglês: equidistante de alta densidade.

para a *Gaivota* foi de 2,84 m/s e o intervalo de tempo entre a gravação de posições foi de 0,1 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.11.3.18, 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 das embarcações de sondagem (*Vessel File*) com os parâmetros de instalação e aferição dos equipamentos;
- Interpolação da trajetória das embarcações, baseada nas posições gravadas;
- Análise dos dados de navegação e de atitude, para deteção de eventuais erros e consequente rejeição das sondas por eles afetadas;
- Elaboração dos datagramas de maré, através do registo dos marégrafos.

5.4.2. Exatidão do sistema de posicionamento

A avaliação da exatidão do sistema de posicionamento das embarcações foi realizada através da colocação da antena GNSS no PA ☉ IH BH 15/2015.

As diferenças entre as coordenadas obtidas pelo sistema de posicionamento da embarcação e as coordenadas conhecidas do referido PA, descritas nas tabelas IV à VII, permitiram concluir que as especificações do levantamento de ordem 1a foram cumpridas.

Tabela IV – Exatidão do sistema de posicionamento *Mergulhão* com RePRAA HORT (☉ IH BH 15/2015).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal
N.º de comparações	557	
Média (m)	0,091 m	0,039 m
Desvio padrão (m)	0,035 m	0,012 m
2RMS ⁹ (m)	0,196 m	0,08 m

Tabela V – Exatidão do sistema de posicionamento *Mergulhão* com RePRAA QEMD (☉ IH BH 15/2015).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal
N.º de comparações	574	
Média (m)	-0,069 m	0,039 m
Desvio padrão (m)	0,011 m	0,01 m
2RMS ¹⁰ (m)	0,14 m	0,08 m

⁹ Sigla em inglês: *Root Mean Square*. Considerando uma distribuição simétrica dos erros em X, Y, e Z, o 2RMS corresponde a um nível de confiança de 95%.

¹⁰ Id.

Tabela VI – Exatidão do sistema de posicionamento *Gaivota* com RePRAA AZTP (© IH BH 15/2015).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal
N.º de comparações	1 253	
Média (m)	0,029 m	0,093 m
Desvio padrão (m)	0,017 m	0,008 m
2RMS ¹¹ (m)	0,066 m	0,186 m

Tabela VII – Exatidão do sistema de posicionamento *Gaivota* com RePRAA HORT (© IH BH 15/2015).

Parâmetro	1D Vertical	2D Horizontal
N.º de comparações	924	
Média (m)	0,012 m	0,095 m
Desvio padrão (m)	0,013 m	0,033 m
2RMS ¹² (m)	0,036 m	0,202 m

5.4.3. Balanço da incerteza das medições

O balanço das incertezas horizontal (THU¹³) e vertical (TVU¹⁴), teve em consideração os parâmetros detalhados no apêndice D-2 e baseou-se no modelo preditivo implementado no software CARIS HIPS v.11.3.18, em conformidade com as especificações da OHI.

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 por um modelo batimétrico (MB) do tipo *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE), com superfície de resolução variável, gerado apenas com as sondas reduzidas das FPS. Neste âmbito, para as seguintes áreas:

- De São Roque às Lajes do Pico (este da ilha do Pico) foram comparadas 20 919 833 sondas, encontrando-se 97,84 % na tolerância definida para levantamentos de ordem 1a.
- Das Lajes do Pico à Madalena (sudoeste da ilha do Pico) foram comparadas 2 455 866 sondas, encontrando-se 97,22 % na tolerância definida para levantamentos de ordem 1a.
- Da Madalena a São Roque (noroeste da ilha do Pico) foram comparadas 19 780 876 sondas, encontrando-se 96,13 % 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:

¹¹ Id.

¹² Sigla em inglês: *Root Mean Square*. Considerando uma distribuição simétrica dos erros em X, Y, e Z, o 2RMS corresponde a um nível de confiança de 95%.

¹³ Sigla em inglês: *Total Horizontal Uncertainty*.

¹⁴ Sigla em inglês: *Total Vertical Uncertainty*.

- Traçado do raio acústico associado a cada sonda, através dos datagramas de VPS;
- Cálculo da altura de água relativamente ao plano de referência vertical (ZH), através das observações dos dados de maré, por dois marégrafos, e processado com recurso ao ficheiro *Tide Zone*;
- 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.

5.4.6. Validação dos modelos batimétricos

A modelação batimétrica baseou-se no algoritmo CUBE implementado no software CARIS HIPS v.11.3.18, tendo sido efetuada uma análise das camadas de informação associadas ao 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*);
- Incerteza da estimação (*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* (*Unc_Diff*).

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

- Rejeitando as sondas que produziam valores anómalos ou ruído no MB;
- Designando as sondas mínimas representativas de objetos, estruturas relevantes ou de valor díspar do estimado pelo algoritmo.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos modelos batimétricos encontram-se detalhados no apêndice D-2.

5.4.7. Coluna de água

A informação disponibilizada pela coluna de água (*water column*) do SMF foi utilizada na deteção de manifestações verticais na coluna de água. Foram observados de forma consistente três locais distintos em volta da ilha do Pico. A informação sobre localização e imagens retiradas em processamento destas manifestações encontram-se no apêndice I.

5.4.8. Produtos finais

O produto final do LH com SMF foi um MB do tipo CUBE, em formato próprio (*Caris Spatial Archive* (CSAR)) do *software* CARIS HIPS v.11.3.18, com resolução variável, que inclui as sondas designadas e em que cada nodo possui um valor de incerteza vertical associado à estimação 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 estimação da profundidade do nodo, propagado a um nível de confiança de 95 %.

6. Topografia

6.1. Estruturas

A topografia das infraestruturas portuárias foi realizada com um recetor TRIMBLE R2 em modo DGNSS RTK. O processamento das observações GNSS foi efetuado no *software* TBC v.5.52, através de ajuste de rede e forçamento das coordenadas (latitude, longitude e altitude elipsoidal), utilizando as estações de referência da REPRAA: HORT, QEMD e TERC.

6.1.1. Produtos finais

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

A área do LH caracteriza-se por uma abundância de estruturas rochosas, vertentes abruptas e taludes rochosos junto às margens.

7.2. Profundidades mínimas

As sondas mínimas encontradas na área do LH encontram-se descritas na tabela VIII.

Tabela VIII – Profundidades mínimas.

Profundidade (m)	X (m)	Y (m)	Latitude (°)	Longitude (°)	Observações
2,294	382 604,240	4 267 066,313	38,5442750	-028,3471115	Estrutura rochosa conspícua
5,133	381 018,188	4 267 812,486	38,5507869	-028,3654338	Estrutura rochosa conspícua
8,045	409 724,039	4 251 266,261	38,4050726	-028,0339315	Estrutura rochosa conspícua
7,700	371 735,923	4 254 652,707	38,4309375	-028,4695150	Estrutura rochosa conspícua

8. Outros elementos

8.1. Comparação com a cartografia em vigor

A comparação efetuada entre as isóbatas e as sondas mínimas do MB e as representadas nas CEN PT446201 e PT446403, evidenciou que a batimetria representada na cartografia em vigor está desatualizada, com impacto para a segurança da navegação.

Os resultados obtidos encontram-se detalhados no apêndice G.

8.2. Toponímia

A toponímia utilizada na CN encontra-se atualizada.

9. Produtos finais

Foram gerados três MB de resolução variável, de acordo com o método descrito no apêndice D-2, nos seguintes formatos:

- Ficheiros de texto, em formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), com as profundidades (latitude, longitude, profundidade e incerteza);
- Ficheiros de superfície, em formato CSAR;
- Ficheiros de imagem, em formato *Geospatial Tagged Image File Format* (GeoTIFF).

Foram também elaborados:

- Ficheiro CAD dos objetos e estruturas topografadas, em formato DWG, versão 2007;
- FPC dos PA, em formato *Portable Document Format* (PDF);
- EMN dos NG, em formato PDF;
- Ficheiro de Metadados, em formato *Extensible Markup Language* (XML);
- Perfis de VPS, em formato *Ascii Sound Velocity Profile* (.ASVP).
- Ficheiro de texto, em formato ASCII, com as profundidades dos MB (X, Y, profundidade e incerteza);
- Nuvem de pontos em formato CSAR (*point cloud*);

10. Dados estatísticos

10.1. Trabalhos em terra

– Início dos trabalhos de campo	2021-07-20
– Fim dos trabalhos de campo.....	2021-09-02
– Dias de trabalho no campo	37
– Dias de trabalho no gabinete	18
– Estações de referência instaladas	0
– Pontos reconhecidos	8
– Pontos coordenados.....	8
– Dias ocupados nos trabalhos de apoio	4

10.2. Trabalhos no mar

– Dias de sondagem efetiva	23
– Tempo efetivo de sondagem (horas:minutos)	110:54
– Tempo total de sondagem (horas:minutos)	129:27
– Tempo total de navegação (horas:minutos)	146:28
– Tempo médio diário de sondagem (horas:minutos)	05:51
– Distância percorrida em fiada (km)	1 164,69
– Velocidade média de sondagem (m/s)	2,91
– Área sondada (km ²)	89,4

10.3. Espaço em disco

– Projeto (GB).....	365
– Produtos finais (GB)	52,3

11. Diversos

11.1. Apoios

Na execução deste LTH salienta-se a colaboração logística prestada pela Associação Humanitária Bombeiros Voluntários da Madalena e pela Capitania do Porto da Horta.

11.2. Limitações

Na execução deste LH destacam-se os seguintes fatores condicionantes do planeamento:

- A avaria no ar condicionado da lancha hidrográfica *Mergulhão*;
- Condições meteorológicas e oceanográficas desfavoráveis;

- Inoperacionalidade das estações da REPRAA na ilha do Pico, durante grande parte do período do LTH, e envio em tempo dos dados *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX).

Detalhes das limitações sentidas durante a campanha encontram-se discriminadas no apêndice J.

Por forma a melhorar o planeamento, realizou-se o apêndice K com recomendações para futuras campanhas.

12. Conclusões

Consideram-se alcançados parcialmente os objetivos do LTH e cumpridas as especificações determinadas na OE 35/DT/21 e definidas nas IT HI 11/21.

O levantamento realizado, ainda que com limitações e condicionantes existentes, foi efetuado em segurança e teve como resultado a cobertura de uma assinalável extensão da plataforma insular da ilha do Pico, com dados batimétricos de elevada resolução.

Lisboa, Instituto Hidrográfico, 16 de novembro de 2021.

Os Hidrógrafos do LH,

O Chefe da Brigada Hidrográfica,

Laura Neves de Sousa
Primeiro-tenente

Rui Miguel Pinto da Silva
Capitão-de-fragata
Engenheiro Hidrógrafo

Paulo Teixeira de Carvalho
Primeiro-tenente STH

José Murta Cunha
Segundo-tenente

Visto,
O Chefe da Divisão de Hidrografia,

Visto,
Pel' O Diretor Técnico,

João Paulo Delgado Vicente
Capitão-de-fragata

Miguel Bessa Pacheco
Capitão-de-mar-e-guerra
Engenheiro Hidrógrafo

REFERÊNCIAS

- IH, novembro 2012. CN 46201, *Canal de São Jorge – (Ilha de São Jorge e Pico)*, 2.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, novembro 2016. CN 46403, *Ilha do Faial e Canal do Faial – (Planos dos Portos da Horta e da Madalena)*, 2.^a Edição. Lisboa: IH.
- IH, 2021. REL TF HI 03/20, *LTH, No Arquipélago dos Açores*. Lisboa: IH.
- IH, 2019. REL TF HI 13A/19 – Vol.II, *LTH No Arquipélago dos Açores*. Lisboa: IH.
- IH, 2020. REL TF HI 11/18, *LTH Na Ilha das Flores*. Lisboa: IH.
- IH, 2015. REL TF HI 10/15, *LTH Nos Portos Da Horta, Madalena e São Roque do Pico*. Lisboa: IH.
- IH, 2021. Base de Dados (BD) de PA e MN. Lisboa: IH.
- Kongsberg Maritime (KM), 2017. *EM 2040C Datasheet*. Noruega: KM.
- KM, 2018. *MRU 5 Datasheet*. Noruega: KM.
- KM, 2018. *Seapath 380 Datasheet*. Noruega: KM.
- Google Earth, 2021. *Ilha do Pico*. [Online] Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth> [Consultado em 1 de julho de 2021].
- Leica Geosystems¹⁵ (LG), 2000. *Leica TC305 Datasheet*. Suíça: LG.
- OHI, 2020. Publicação Especial n.º 44 (S-44), *Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos*, 6.^a edição. [Online] Disponível em: https://iho.int/uploads/user/pubs/Drafts/S-44_Edition_6.0.0-Final.pdf [Consultado em 4 de abril de 2021].
- Trimble¹⁶, 2018. *Trimble R9s GNSS Receiver Datasheet*. EUA: Trimble.
- Trimble, 2019. *Trimble R2 GNSS Receiver Datasheet*. EUA: Trimble.

¹⁵ Leica Geosystems: <https://leica-geosystems.com>.

¹⁶ Trimble: <http://www.trimble.com>.

APÊNDICE B
ESQUEMA DA ÁREA SONDADA

1. Área sondada

A área sondada neste levantamento encontra-se ilustrada na figura B-1 (escala de profundidades em metros).

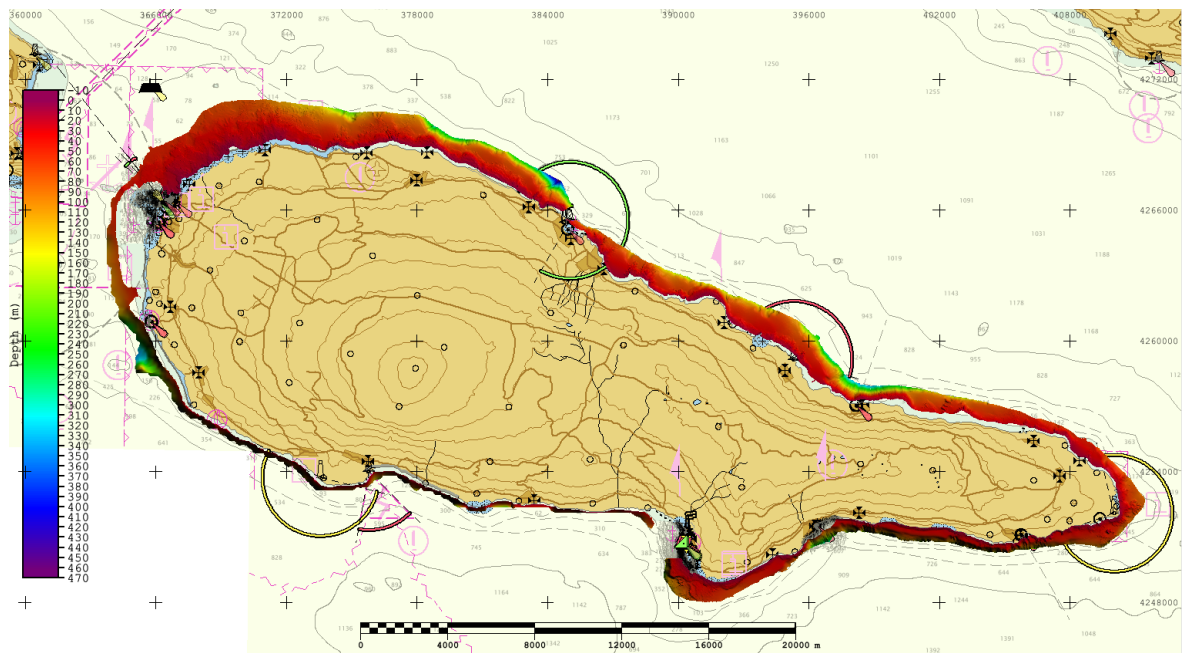


Figura B-1 – Esquema geral da área sondada

APÊNDICE C-1

RELAÇÃO DE COORDENADAS DOS PONTOS DE APOIO



RELAÇÃO DE COORDENADAS

O Hidrógrafo do Levantamento,

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

Local: Açores

Relatório: REL TF HI 11/21

Car. Iho
ATEW/SH

FPC	Designação	PTRA08-UTM 26 / ITRF93				Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica NMA (m)	Altitude Ortométrica GeodAz14 (m)	Observações
		Latitude	Longitude	X (m)	Y (m)				
X	⊙IH BH 40/09	38°32'09,00520" N	028°31'49,57110" W	366 611,756	4 266 379,737	60,125	1,979	2,300	PA3D
X	⊙IH BH 41/09	38°23'50,66735" N	028°15'18,50616" W	390 397,320	4 250 655,424	60,129	2,290	2,687	PA3D
X	⊙IH BH 15/2015	38°31'48,84033" N	028°19'16,91576" W	384 825,607	4 265 475,567	60,527	2,178	2,041	PA3D
X	⊙IH BH 15/21	37°45'39,36927" N	025°38'39,04486" W	619 425,655	4 180 156,280	114,263	-	57,404	PA3D
X	⊙IH BH 16/21	38°23'50,74998" N	028°15'18,55151" W	390 396,254	4 250 657,986	60,088	2,211	2,647	PA3D
X	⊙IH BH 17/21	38°31'50,17308" N	028°19'16,06774" W	384 846,731	4 265 516,354	60,560	2,206	2,078	PA3D
X	⊙IH BH 18/21	38°31'49,57413" N	028°19'16,10748" W	384 845,503	4 265 497,905	60,480	2,181	1,997	PA3D
X	⊙IH BH 19/21	38°32'04,62661" N	028°31'45,61497" W	366 705,296	4 266 243,172	60,196	-	2,368	PA3D

APÊNDICE I
COLUNA DE ÁGUA

1. Manifestações na Coluna de Água

Foi observado, em duas diferentes passagens, perturbação na coluna de água de forma consistente e prolongada no espaço. Posições¹ descritas pelos seguintes pontos:

1.1. WCL 1

- 1 - LAT: 38,4065445N - LONG: 028,2743308W – Depth: 54 m;
- 2 - LAT: 38,4071331N - LONG: 028,2747407W – Depth: 52 m;
- 3 - LAT: 38,4078729N - LONG: 028,2755752W – Depth: 54 m.

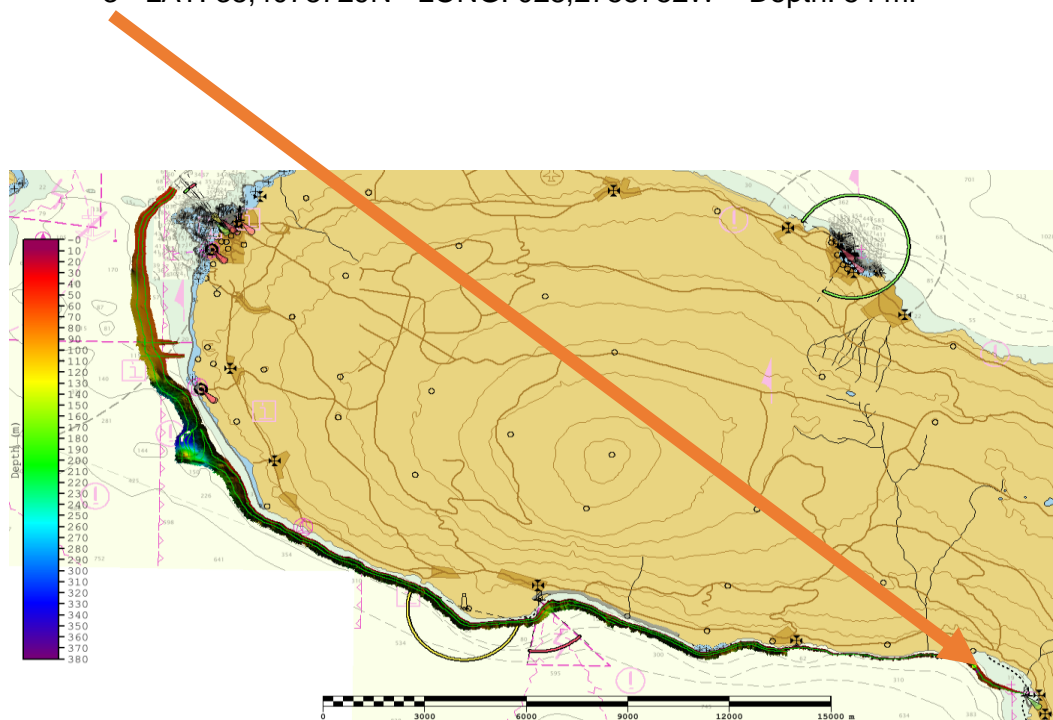


Figura I-1 - Localização da WCL 1.

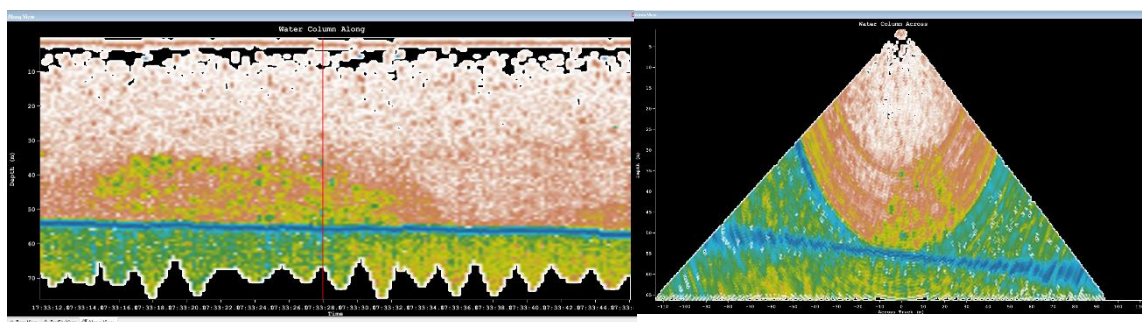


Figura I-2 – Manifestação da coluna de água em processamento.

¹ A origem desta manifestação não é fácil de localizar, dessa forma, podem verificar-se deslocamentos desta manifestação devido à ação das correntes.

1.2. WCL 2

— LAT: 38,4952055N - LONG: 028,2228723W – Depth: 81 m.

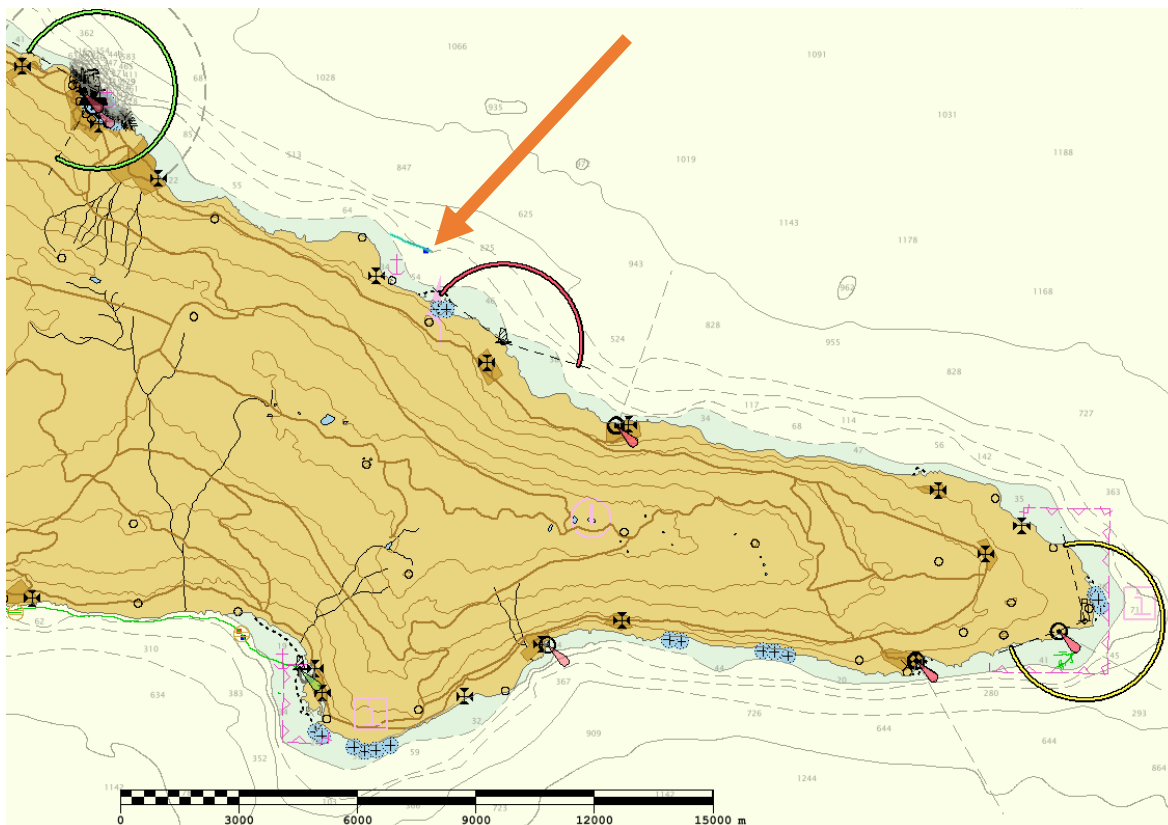


Figura I-3 - Localização da WCL 2.

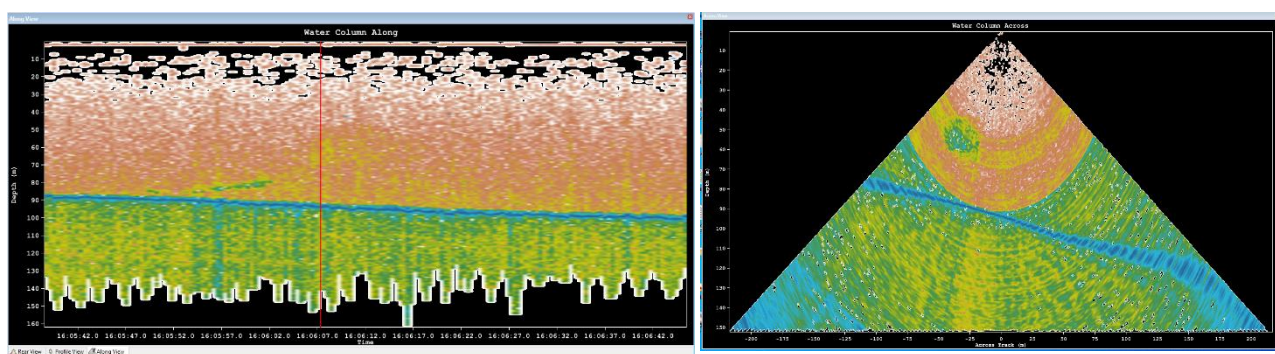


Figura I-4 - Manifestação da coluna de água em processamento.

1.3. WCL 3

— LAT: 38.4023590N - LONG: 028.0377013W– Depth: 56 m.

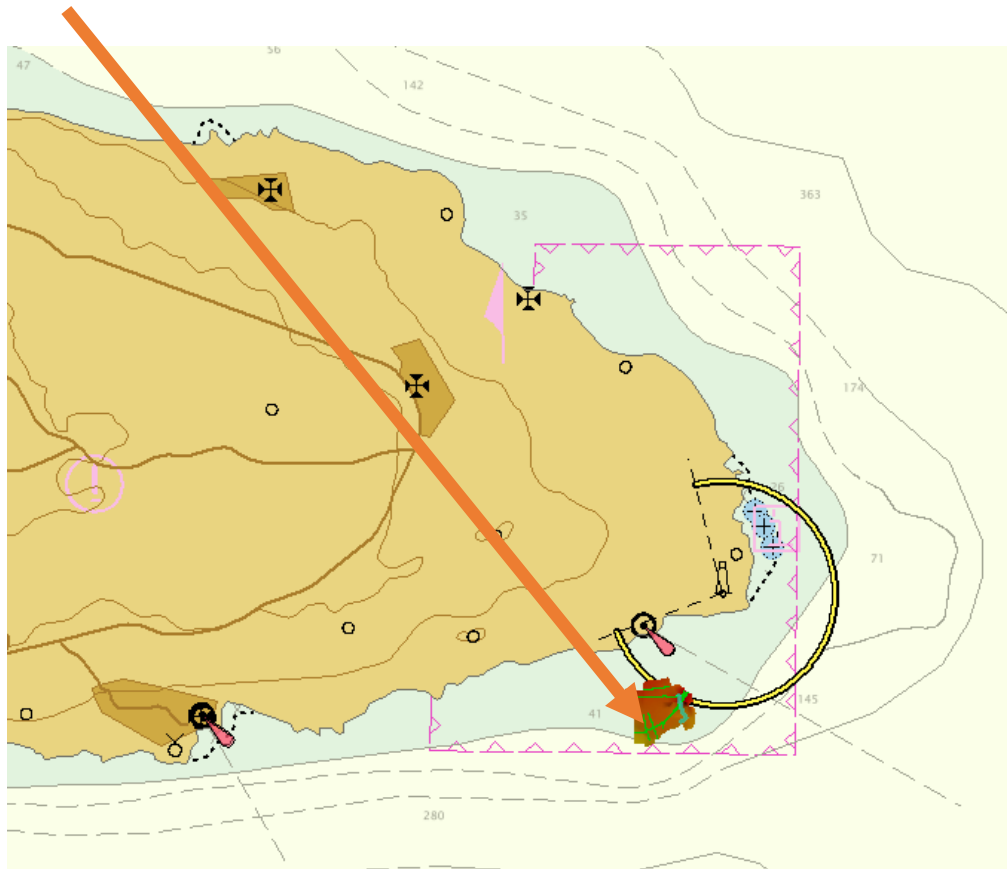


Figura I-5 - Localização da WCL 3.

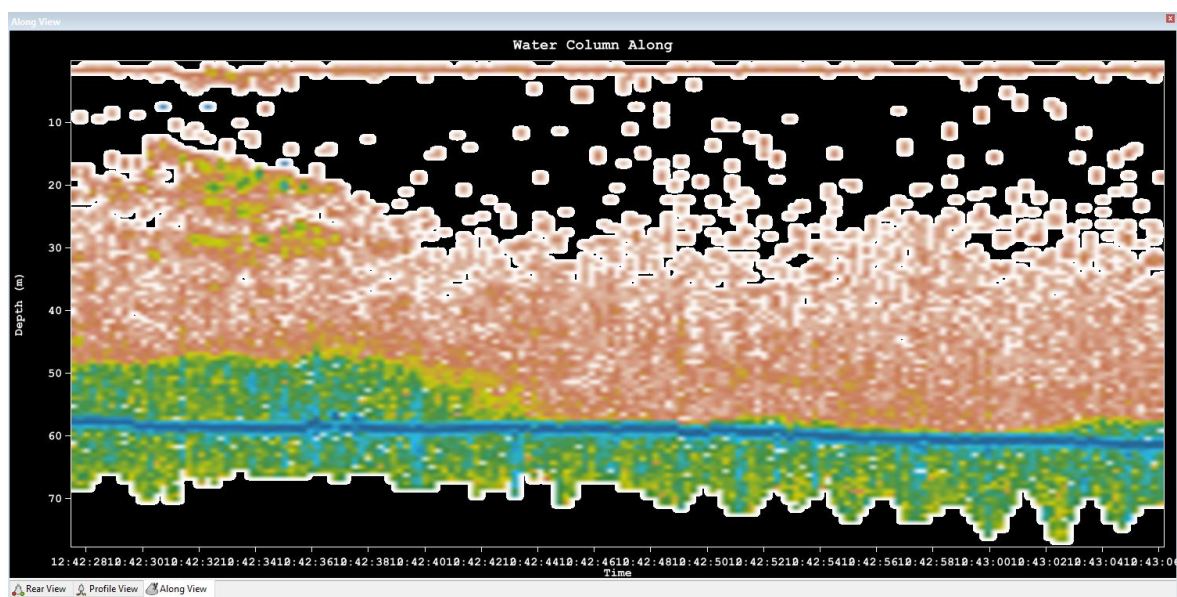


Figura I-6 - Manifestação da coluna de água em processamento.

