

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS - CFM  
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA**

**VANESSA GUESSER**

**CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, ADJACENTE  
AO LITORAL NORTE, DA ILHA DE SANTA CATARINA, POR MEIO DE  
PROCESSAMENTO DE DADOS DE SONOGRAFIA E DE BATIMETRIA DE  
VARREDURA.**

**Florianópolis, SC.**

**2018.**

**VANESSA GUESSER**

**CARACTERIZAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA, ADJACENTE  
AO LITORAL NORTE, DA ILHA DE SANTA CATARINA, POR MEIO DE  
PROCESSAMENTO DE DADOS DE SONOGRAFIA E DE BATIMETRIA DE  
VARREDURA.**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Oceanografia da Universidade  
Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein.

**Florianópolis, SC.**

**2018.**

## AGRADECIMENTOS

Durante a trajetória para que este trabalho fosse finalizado, diversas foram as pessoas que me deram suporte, direta ou indiretamente, portanto gostaria de deixar aqui minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Antonio Henrique da Fontoura Klein, pela oportunidade de ingressar nesta área da oceanografia proporcionando tantos contatos e aprendizados de enorme valor para minha formação. Pelo seu tempo e dedicação, investidos neste processo. E pela confiança e paciência ao longo desses anos.

Aos professores da graduação da Oceanografia UFSC, pelos ensinamentos que subsidiaram todo o conhecimento adquirido nesta fase acadêmica e pela dedicação ao lecionar.

A minha passagem pela CBI Brasil e tantas pessoas valorosas que tive a oportunidade de conviver. Ao Jorge pela confiança e credibilidade ao dar oportunidade de estagiar durante dois anos nesta empresa. Ao Cesar Félix que tanto tempo dedicou em ensinar, auxiliar, coordenar e orientar a mim e as meninas da geofísica. E a elas, Camila e Larissa Felicidade, que de colegas de trabalho tornaram-se amigas especiais.

A todos os companheiros do LOC, Laboratório de Oceanografia Costeira UFSC, que auxiliaram de forma direta neste projeto e aos que se mostraram presentes nos momentos necessários. Pessoas que auxiliaram em um ambiente de estudos e de convivência descontraído e saudável.

Aos *oceans*, amigos de estudo e amantes da oceanografia: Álvaro, Hiroshi, Alex, Giu, Gabrielle, Maíra, Daí, Thais e Renan, pelos momentos de estudo, vl, companheirismo, compreensão e momentos de descontração.

Aos amigos da geografia Manoel, Edson, Eva e Ju, pelo apoio incondicional para perseverar nesta etapa, pela companhia, sinceridade, e valores compartilhados ao longo destes oito anos de amizade.

CNPq pela bolsa de iniciação científica e ao Ministério do Meio Ambiente pelo suporte ao projeto MMA-Riscos pelo qual os dados foram adquiridos.

E por último e mais importante a minha família, fundamentais nesta trajetória. Aos meus pais, por todo empenho e carinho dedicados ao longo da vida, pela educação valorosa oferecida, e pela família que formaram. Aos meus irmãos fonte inesgotável de amor, pelo apoio emocional e muitas vezes financeiro, pelo companheirismo na vida, e por proporcionar uma experiência maravilhosa que é ter sobrinhos.

Aos meus avós, Seu Pinheiro e Dona Biana, por colocar o mar e o espírito aventureiro tão próximo das minhas interações cotidianas. E ao Seu Cesar e Dona Marli por estimular o conhecimento, apreciar e incentivar a beleza das artes, além de despertar a curiosidade sobre as relações do meio ambiente ao qual fazemos parte.

**Resumo:**

O presente trabalho apresenta o processamento de dados de batimetria de varredura e de sonografia efetuados na plataforma continental interna da Ilha de Santa Catarina, entre as praias dos Ingleses e da Lagoinha, com o objetivo de identificar e caracterizar o leito marinho. A aquisição dos dados foi feita com um interferômetro Edgetech 4600, com frequência de 540 KHz. Foram processados 332,8 Km de linhas de levantamento nas regiões dos Ingleses, Brava, Lagoinha, Ponta do Rapa e Ponta das Feiticeiras. Os dados de sonar de varredura lateral foram processados no *software* SonarWiz®, executados a extração da coluna d'água, aplicação de ganhos e identificação de feições. A batimetria de varredura foi processada no HYPACK® 2013, efetuados correção de maré, correção do perfil da velocidade do som e a retirada de possíveis dados espúrios. Como resultado identificou-se profundidades na área entre 3 e 18 metros. Os promontórios mostraram-se os locais de maior declividade, com uma média variando em 4,6° na Ponta das Feiticeiras e 3,1° na Ponta do Rapa, enquanto nas enseadas foi de 1,3° nos Ingleses, 1,5° Brava e 1,3° na Lagoinha. O padrão sonográfico revelou um fundo homogêneo de reflexão, com uma modificação neste padrão que se estende entre a Ponta do Rapa até a Lagoinha, com características de um padrão de reflexão de areia grossa. Na Brava e Ponta das Feiticeiras identificou-se sequências de formas de leito sinuosas e lunares relacionadas diretamente com o movimento orbital da onda e a diminuição da profundidade. Nos Ingleses foram identificadas megaondulações do tipo catenária junto a Ponta dos Ingleses, além da identificação de um naufrágio.

**Palavras-chave:** batimetria de varredura, formas de leito, retroespalhamento.

**Abstract:**

This work presents the swath bathymetry and sonography data processing of inner continental shelf of the Island of Santa Catarina, between Ingleses Beach and Lagoinha, with the objective of identifying and characterizing the seabed. The data acquisition was done with an Edgetech 4600 interferometer, with frequency of 540 Khz. Were processed 332.8 km of survey lines in the regions of Ingleses, Brava, Lagoinha, Ponta do Rapa and Ponta das Feiticeiras. The Side scan sonar data was processed in the SonarWiz® *software*, performed the extraction of the water column, application gains and identifying features. The bathymetry was processed in HYPACK® 2013 made correction tide, the sound velocity profile correction and removal of possible spurious data. As a result, depths between 3 and 18 meters were identified in the area bathymetry. The headlands showed the highest slopes, with a mean varying in 4,6 ° in Ponta das Feiticeiras and 3,1 ° in Ponta do Rapa, while 1,3° at Ingleses, 1,5 ° at Brava and 1,3 ° at Lagoinha. The sonographic reflection pattern revealed a homogeneous bottom, with a modification in this pattern which extends between Ponta do Rapa and Lagoinha, character of a coarse sand reflection pattern. Sequences of bedforms were identified at Brava and Ponta das Feiticeiras, like sinuous and lunar bedforms directly related to the orbital motion of the wave and the decrease of depth. In the Ingleses were identified catenary megaripple type along the Ponta dos Ingleses, besides the identification of a shipwreck.

**Key-words:** swath bathymetry, bedforms, backscatter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo, delimitada pelo polígono em verde. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015. ....	17
Figura 2 - Mapa de distribuição textural ao longo da plataforma continental adjacente à ilha de Santa Catarina, modificado de (PGGM, 2010). Caracterizando a área de estudo como composta por areia fina. ....	18
Figura 3 - Diagrama de estabilidade de formas de leito, que relaciona a forma de leito, o tamanho do grão do sedimento e a velocidade do fluxo atuante, modificado de Nichols (2009). ....	19
Figura 4 - Esquema de sequência de ocorrência de formas de leito, modificado de SHORT (1999). ....	20
Figura 5 - Comparação das frequências acústicas e suas aplicações, fonte SOUZA (2006). O equipamento utilizado neste trabalho é caracterizado como de investigação de superfície, mais precisamente de imageamento. ....	23
Figura 6 - Representação das ondas refletida e espalhada, modificado de Lurton and Lamarche, (2015). ....	24
Figura 7 - Fatores que influenciam o retroespalhamento no fundo marinho, modificado de BLONDEL, 2009. ....	25
Figura 8 - Princípio da interferometria. O sinal retroespalhado do ponto M (fundo marinho) é recebido em dois receptores diferentes, A e B. $\Delta R$ é a diferença dos caminhos acústicos entre esses dois pontos dos receptores, relacionado com a direção $\theta$ do retorno do fundo marinho, modificado de Blondel, 2009. ....	26
Figura 9 - Exemplo de dado de um diferenciador de fase, ilustrando a diferença entre a largura de varredura para batimetria e para o retroespalhamento, modificado de Lurton & Lamarche( 2015). ....	27
Figura 10 - Diferentes equipamentos utilizados para imageamento de superfície e levantamento hidrográfico. A monofeixe, B multifeixe e C batimetria de varredura. Modificado de Blondel (2009). ....	28
Figura 11 - Movimentos axiais da embarcação, modificado de BLONDEL ( 2009). ..	30
Figura 12 - <i>Offsets</i> da embarcação, modificado de HYPACK, 2013. ....	30
Figura 13 - Correções efetuadas durante o <i>patch test</i> , modificado HYPACK, 2013. 31	

Figura 14 - Desenho esquemático sobre as resoluções ao longo da trajetória ( <i>along-track</i> ) e através da trajetória ( <i>across-track</i> ), modificado de Blondel, 2009. ....	33
Figura 15 - Cálculo da altura do alvo através da sombra, modificado de Clausner & Pope (1988).....	34
Figura 16 - À direita interferômetro Edgetech 4600 e a esquerda equipamento instalado na embarcação. Fonte: acervo fotográfico LOC (Laboratório de Oceanografia Costeira). ....	38
Figura 17 - Fluxograma das etapas utilizadas para o processamento da batimetria de varredura, modificado de Hypack (2013). ....	39
Figura 18 - Visualização da janela do <i>software</i> Hypack, com os dados brutos de batimetria de varredura para a retirada dos dados espúrios. Nota se que quanto mais próximo a extremidades de cada linha a dispersão dos pontos aumenta. ....	40
Figura 19 - Identificação de um dos desníveis detectados na junção de levantamentos de dias diferentes, delimitado pelo polígono vermelho apresenta uma diferença de cinquenta centímetros. ....	41
Figura 20 - Visualização da janela de edição do sonograma no <i>software</i> SonarWiz. Identificando o leito marinho nos dois lados do nadir, e a interface entre a coluna de água e o substrato.....	42
Figura 21 - Sonograma que mostra a diferença de intensidade do sinal gerada pela mudança de posição do equipamento. Em A um sonograma com um lado de maior intensidade e outro de menor; em B o mesmo padrão seguido em várias outras linhas.....	43
Figura 22 - Sequencia explicativa quanto a classificação dos tipos de forma de leito. Fonte: Porpilho, 2015. ....	45
Figura 23 - Representação da cobertura efetuada durante o levantamento nos Ingleses.....	46
Figura 24 - Mosaico sonográfico dos Ingleses com a identificação das feições encontradas e de um naufrágio. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015. ....	47
Figura 25 - Imagens sonográficas localizadas nos Ingleses. Em A rochas, em B e C material consolidado ou de origem antropogênica. ....	48
Figura 26 - Naufrágio identificado nos Ingleses. ....	49
Figura 27 - Imagem sonográfica da megaondulação, assimétrica, catenária. ....	50



Figura 28 - Perfil extraído da batimetria de varredura identificando a altura e migração das megaondulações catenárias. ....	50
Figura 29 - Desenho esquemático do comportamento da corrente na região dos Ingleses indicando direção e velocidade em ms <sup>1</sup> , modificado de Vieira da Silva <i>et al.</i> , 2016. ....	51
Figura 30 - Imagem sonográfica, à direita, das formas de leito da porção central. À esquerda perfil retirado da batimetria, para identificar a migração e altura das formas de leito. ....	52
Figura 31 - Mapa batimétrico Ingleses. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015. ....	53
Figura 32 - Declividade dos Ingleses. ....	54
Figura 33 - Área de cobertura Ponta das Feiticeiras. ....	55
Figura 34 - Mosaico sonográfico da Ponta da Feiticeira com a identificação das feições encontradas. ....	56
Figura 35 - Identificação de rochas na parte central da Ponta das Feiticeiras. ....	57
Figura 36 - Marcas onduladas encontradas na parte norte da Ponta das Feiticeiras. ....	57
Figura 37 - Formas de leito sinuosas assimétricas medindo de 0,8 a 1 metro. ....	58
Figura 38 - Identificação da sequencia dos tipos de forma de leito. ....	59
Figura 39 - Identificação da altura e migração das marcas onduladas por meio do perfil batimétrico. ....	59
Figura 40 - Mapa batimétrico da Ponta das Feiticeiras. ....	60
Figura 41 - Perfil de declividade da Ponta das Feiticeiras. ....	61
Figura 42 - Cobertura do levantamento da Brava. ....	62
Figura 43 - Mosaico sonográfico da Brava com a identificação das feições encontradas. ....	63
Figura 44 - Sequencia das formas de leito identificada. ....	64
Figura 45 - Identificação da altura e migração das marcas onduladas localizadas na Brava. ....	65
Figura 46 - Formas de leito do tipo sinuosas identificadas na parte central. ....	65
Figura 47 - Mapa batimétrico da Brava. ....	66
Figura 48 - Declividade Brava. ....	67
Figura 49 - Área de cobertura do levantamento da Ponta do Rapa. ....	68
Figura 50 - Mosaico sonográfico Ponta do Rapa. ....	69

Figura 51 - Marcas onduladas visualizadas na região central do promontório.....	70
Figura 52 - Marcas onduladas visualizadas na parte mais ao sul do promontório. ...	71
Figura 53 - Identificação de mudança granulométrica e marcas onduladas. ....	72
Figura 54 - Mapa batimétrico da Ponta do Rapa.....	74
Figura 55 - Perfil de declividade da Ponta do Rapa. ....	75
Figura 56 - Mapa de cobertura de levantamento da Lagoinha. ....	75
Figura 57 - Mosaico sonográfico da Lagoinha.....	77
Figura 58 - Imagem sonográfica identificando as marcas onduladas e rocha. No polígono verde as marcas onduladas e no vermelho o substrato rochoso.....	78
Figura 59 - Identificação do desnível encontrado ao unir dias diferentes de levantamento batimétrico. Em A uma representação 3D do fundo marinho processado na Lagoinha. Em B o desnível identificado no processamento e em C a correção deste desnível feita de forma manual no <i>software</i> Hypack. ....	79
Figura 60 - Mapa batimétrico Lagoinha.....	80
Figura 61 - Perfil declividade Lagoinha. ....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dias de levantamento em cada subárea, acompanhado da data do <i>offset</i> e <i>patch test</i> .....	37
--	----

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Padrão adotado pela Sociedade de Geologia Sedimentar, modificado de Ashley (1990). Fonte: Porpilho, 2015.....	21
Quadro 2 - Valores das modificações angulares e os erros verticais e horizontais referentes, modificado de Hypack 2013.....	31

## LISTA DE SÍMBOLOS

$I$  – Impedância acústica

$V$  – Velocidade de vibração das partículas

$\rho$  – Densidade do meio

$R$  – Coeficiente de reflexão

$S_b$  – Coeficiente de retroespalhamento

$P_b$  – Potência espalhada

$E_i$  – Energia incidente

$A$  – Área ensonificada

$\Delta\varphi$  – Diferença de fase

$\Delta RAB$  – Diferença dos caminhos acústicos entre dois receptores

$\theta$  – Direção do retorno do sinal

$a$  – Distância entre os transdutores

$\Delta x$  – Resolução ao longo da trajetória

$\theta_h$  – Largura do feixe horizontal

$R$  – Distancia

$\Delta y$  – Resolução através da trajetória

$c$  – Velocidade do som na água

$\beta$  – Ângulo local de inclinação

$\tau$  – Comprimento do pulso

$H$  – Altura do sonar acima do fundo

$\Delta R$  – Zona de sombra

$h$  – Altura do alvo

$\lambda$  – Comprimento de onda

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Área de estudo.....	15
1.2	Referencial teórico.....	18
1.2.1	Formas de leito.....	18
1.2.2	Geoacústica.....	22
1.2.3	Interferometria.....	25
1.2.4	Precisão, Acurácia e Performance do Levantamento.....	29
1.2.5	Sonografia.....	32
2	Objetivos.....	36
2.1	Objetivos específicos.....	36
3	Materiais e Métodos.....	37
3.1	Origem dos dados.....	37
3.2	Processamento dos dados de batimetria de varredura.....	39
3.3	Processamento de dados de sonografia.....	41
3.4	Classificação das formas de leito.....	43
4	Resultados e Discussão.....	46
4.1	Ingleses.....	46
4.2	Ponta das Feiticeiras.....	55
4.3	Praia Brava.....	61
4.4	Ponta do Rapa.....	67
4.5	Praia da Lagoinha.....	75
5	Conclusão.....	84
6	Referências Bibliográficas.....	84
	ANEXO A - Especificações do equipamento.....	90
	APENDICE - Mapa Padrões sonográficos.....	92

## 1 Introdução

As margens continentais representam 20% do total da área ocupada pelos oceanos, marcando a zona de transição entre os continentes e as bacias oceânicas, compreendendo três principais subdivisões: plataforma continental, talude e sopé (BAPTISTA NETO *et al.*, 2004). A plataforma continental representa a zona marginal dos continentes, caracterizada por suave declividade (1:1000) que se estende da baixa-mar média até a profundidade de 180 m (KENNETT, 1982; SUGUIO, 2003).

Sua topografia atual é resultante do efeito cumulativo de erosão e sedimentação relacionada a numerosas oscilações de larga escala do nível do mar no último milhão de anos (KENNETT, 1982; BAPTISTA NETO *et al.*, 2004). A morfologia e as fácies sedimentares das plataformas resultam de diversos fatores como a largura da plataforma, a taxa e o tipo de aporte sedimentar, características da entrada de energia, histórico da mudança do nível do mar, regime climático tanto no passado quanto no presente, interações animais, de sedimentos e fatores químicos (KENNETT, 1982).

Logo uma variedade de formas de leito é observada em mares costeiros, desde que o leito marinho possua características para que possa ser erodido e atuem agentes forçantes (correntes, ondas e marés), com capacidade o suficiente para mobilizar partículas de sedimento, que evoluem em escalas de tempo de horas a anos e escalas espaciais de centímetros a centenas de metros (VAN MEENE, 2008). Estes ambientes marinhos rasos são também muito essenciais para nossa vida diária e geralmente são moldados por nossas atividades comerciais, ecológicas e de lazer (BLONDEL, 2009).

O conhecimento de áreas rasas submersas apresentou destaque nas últimas décadas, tanto por necessidade quanto por desenvolvimento e aprimoramento de novas ferramentas. Os métodos de investigação acústica formam o principal meio de mapear a topografia do fundo marinho (JONES, 1999), que vem ganhando novos espaços devido a sua utilização exploratória em busca de diversos recursos marinhos, para construções nestes ambientes e para fins ambientais. O que leva a uma incessante busca pelo aprimoramento tecnológico tanto de equipamentos e

técnicas de aquisição quanto de *softwares* para visualização, processamento e interpretação.

Investigações do fundo marinho podem ser feitas através do princípio da interferometria, onde um transdutor emite ondas sonoras e o ângulo de elevação de um alvo no fundo do mar é medido a partir da diferença de fase entre os sinais recebidos nos diferentes receptores (LURTON, 2000). O uso da interferometria como técnica de exploração marinha torna-se interessante por oferecer dois produtos, batimetria e sonografia, a partir de um único equipamento, minimizando custos e facilitando a operação de levantamento de dados. Podem-se cobrir grandes áreas gerando imagens do fundo, ferramenta que fornece um modo de condensar enormes volumes de dados num formato que pode ser facilmente compreendido – a imagem visual (KEAREY *et al.*, 2009).

As imagens produzidas não são fáceis de interpretar, por causa de sua natureza e por causa dos processos complexos em jogo durante a propagação e reflexão das ondas acústicas no meio aquoso (BLONDEL, 2009). Sua análise permite reconhecer as principais características da superfície de fundo (contatos entre diferentes materiais, relevo etc.), tendo como base os padrões texturais observados nas imagens, a geometria das feições identificadas e a refletividade acústica da superfície (SOUZA, 2006).

E tanto o imageamento como a batimetria são utilizados para conhecer e caracterizar o fundo marinho, expandindo significativamente o conhecimento deste ambiente. Através de dados de um interferômetro de 540KHz, este trabalho apresenta uma identificação e classificação das feições de fundo da plataforma continental adjacente a região norte da Ilha de Santa Catarina, descrevendo as formas de leito encontradas e sua relação com a dinâmica local atuante.

### **1.1 Área de estudo**

A área de estudo compreende a plataforma continental interna da região norte da Ilha de Santa Catarina, adjacente as Praias dos Ingleses, Brava, Lagoinha e Pontas do Rapa e das Feiticeiras (Figura 1). Localizada no município de Florianópolis, região leste do Estado de Santa Catarina, banhada pelo Oceano Atlântico.



A Ilha de Santa Catarina está inserida numa região caracterizada por um regime de micromaré, predominantemente semidiurno, com altura mínima de 0,4 m e máxima de 1,2 m, e que em condições de maré meteorológica pode alcançar 1 m acima do nível previsto (TRUCOLLO, 1998; (TRUCOLLO *et al.*, 2006). A plataforma apresenta um clima de ondas com características bimodais, dominado por ondulações de nordeste e sul (ARAUJO *et al.*, 2003). No estreitamento das baías a direção das correntes relaciona-se com as variações de maré. Durante o período de maré enchente o fluxo acontece no sentido de norte a sul, enquanto que na vazante o fluxo é do sul para o norte (MELO FILHO *et al.*, 2006).

O traçado das isóbatas da plataforma continental catarinense é homogêneo, paralelo à linha de costa, sendo subdividida em plataforma interna (até 30 m de profundidade); média (entre 10 e 100 m) e externa (entre 100 e 200 m) (HORN FILHO, 2003), com declividade de 0,5° e 0,7° (GRE, 1989). Na plataforma interna predominam as fácies arenosas (Figura 2); na média, os sedimentos finos associados às areias e na externa, uma mistura de sedimentos grossos (areias) e finos (silte e argila) (CORREA & WILLWOOCK, 1996; HORN FILHO, 2003). Através do padrão de distribuição de sedimentos verifica-se a predominância de areia no setor norte da Ilha de Santa Catarina (HORN FILHO, 2003; PGGM, 2010).

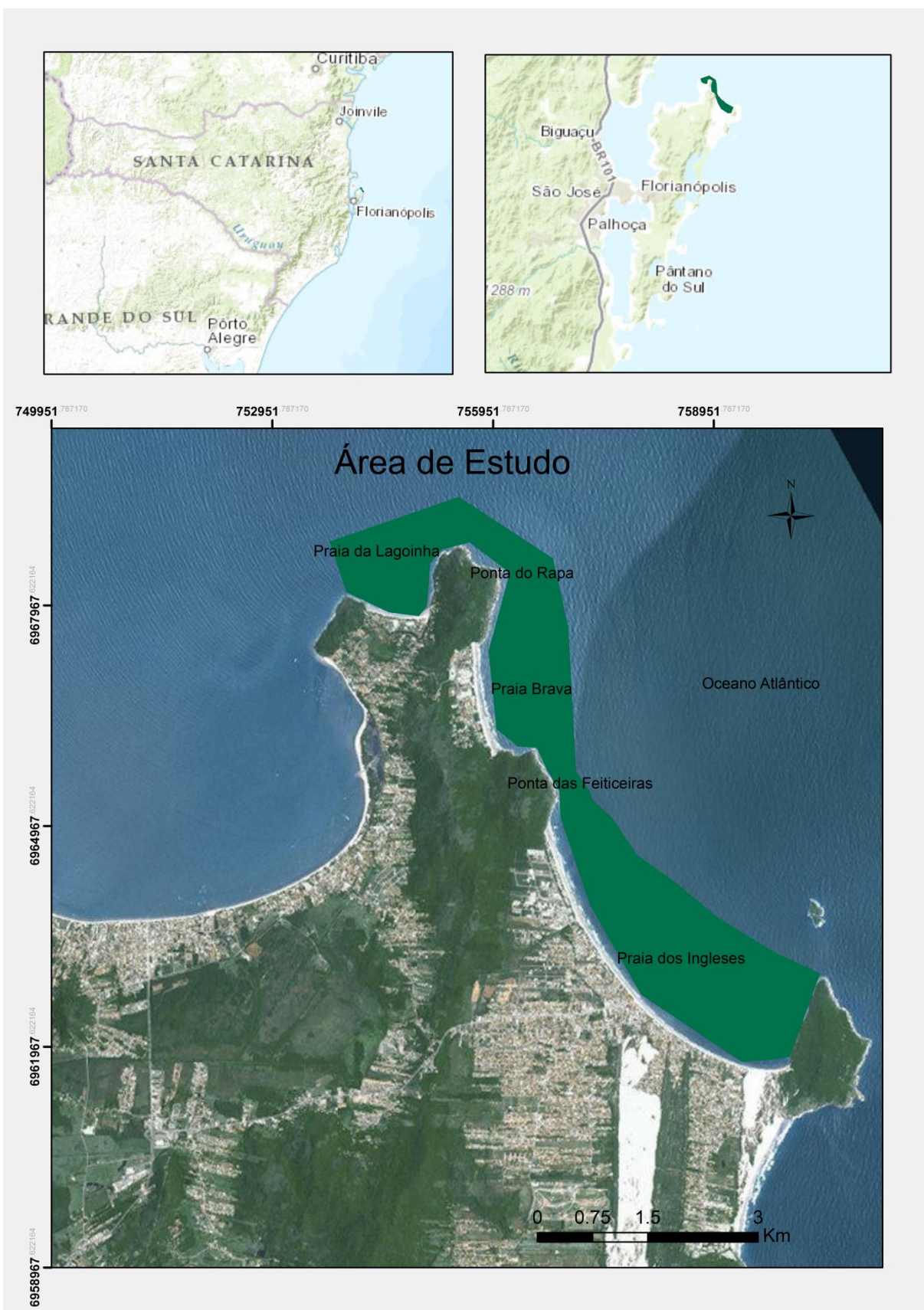


Figura 1 - Localização da área de estudo, delimitada pelo polígono em verde. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015.

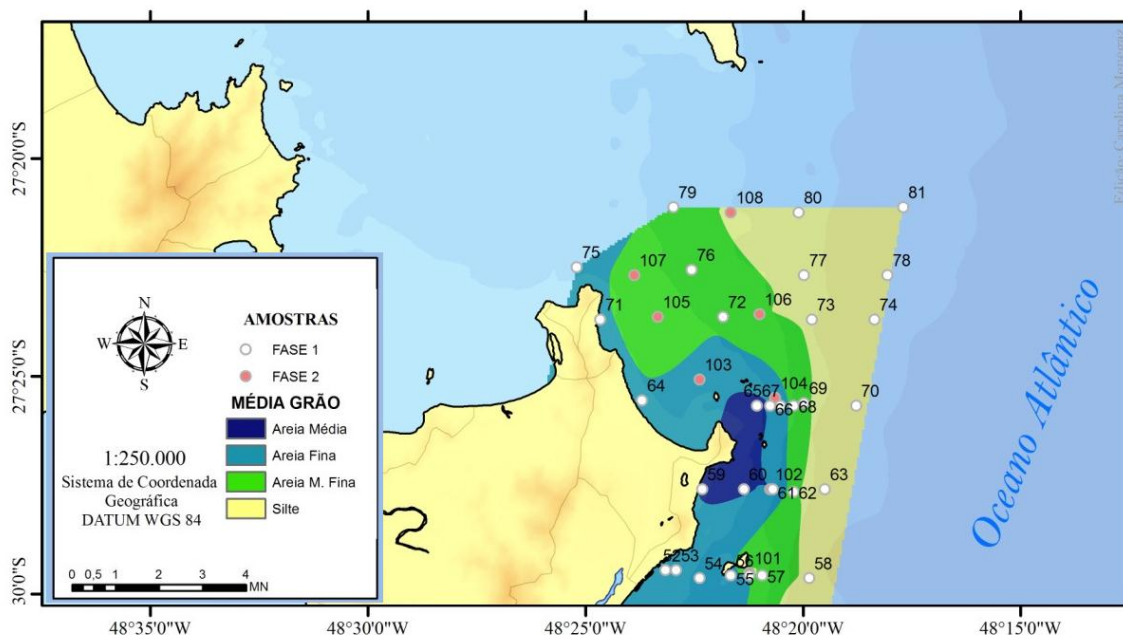


Figura 2 - Mapa de distribuição textural ao longo da plataforma continental adjacente à ilha de Santa Catarina, modificado de (PGGM, 2010). Caracterizando a área de estudo como composta por areia fina.

## 1.2 Referencial teórico

### 1.2.1 Formas de leito

Formas de leito (*bedforms*) são feições morfológicas, consideradas a partir de um ponto de vista hidrodinâmico e não sedimentar, levando-se em conta o tipo, o formato e a dimensão destas feições (VAN RIJN, 1993). Resultando das distorções ao longo de uma interface, causados entre um fluido em movimento e um corpo de partículas de sedimentos não coesivos, moldada em um padrão regular, sistemático e repetido de feições de relevo (FRIEDMAN *et. al*, 1992).

O tamanho e o formato dessas formas de leito são funções da profundidade da coluna d'água, da força e direção das ondas e correntes e do tamanho do grão (ASHLEY, 1990; DEAN & DALRYMPLE, 2002; VAN RIJN, 2007; NICHOLS, 2009), que evoluem em escalas de tempo de horas a anos e escalas espaciais de centímetros a centenas de metros (VAN MEENE, 2008). Como a simetria das formas de leito e a direção de migração reflete a dominância relativa das correntes (eg. *onshore* e *offshore*, ASHLEY, 1990), esses padrões morfológicos podem ser utilizados para inferir variações das condições hidrodinâmicas e conseqüentemente a variação do regime de fluxo (CLIFTON, 1971).

O diagrama de estabilidade de formas de leito (Figura 3) construído através de dados experimentais (NICHOLS, 2009 modificado de Southard 1991, e Allen 1997) indica a forma de leito que ocorrerá para um dado tamanho de grão e velocidade de correntes. Dois regimes de fluxos são reconhecidos: um regime de fluxo inferior onde marcas onduladas, dunas e leito plano são estáveis e um regime de fluxo superior onde são formados leitos planos e antidunas (NICHOLS, 2009).

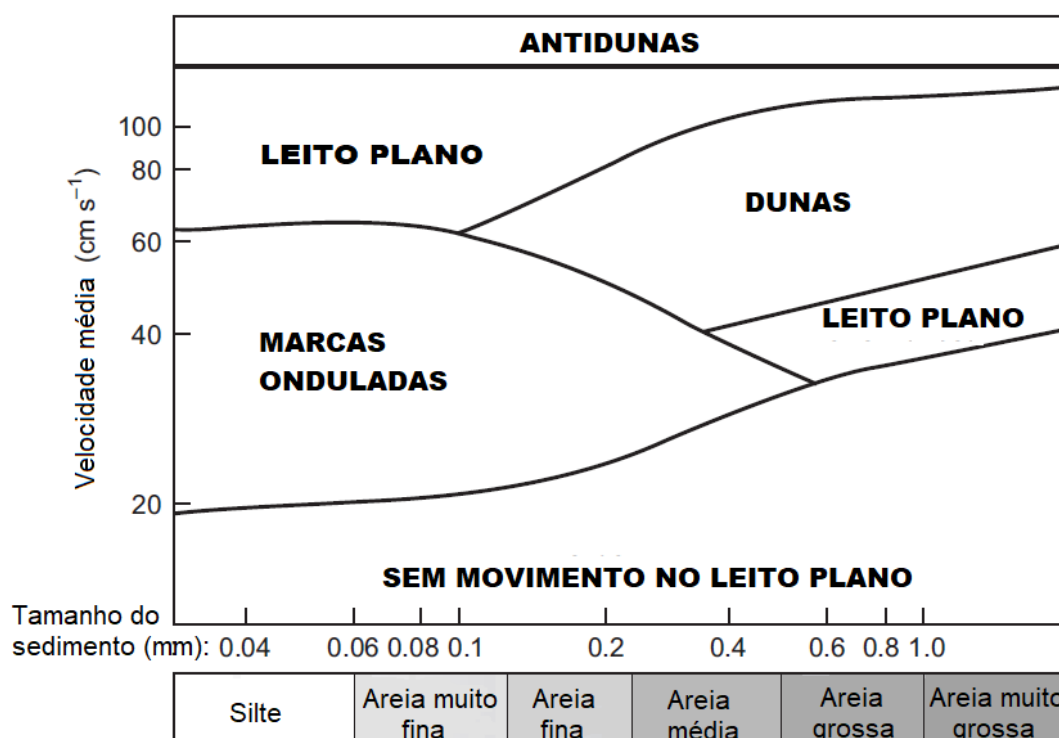


Figura 3 - Diagrama de estabilidade de formas de leito, que relaciona a forma de leito, o tamanho do grão do sedimento e a velocidade do fluxo atuante, modificado de Nichols (2009).

Próximo à linha de costa, as ondas geram correntes unidirecionais e oscilatórias que talvez produzam formas de leito bidimensional ou tridimensional, com espaçamento máximo de 1-3 metros (ASHLEY, 1990). As partículas sob ação de fluxos unidirecionais tendem a gerar marcas onduladas assimétricas apresentando um ângulo mais íngreme no sentido da corrente, enquanto as partículas sujeitas a fluxos bidirecionais tendem a gerar marcas onduladas simétricas (ASHLEY, 1990).

A assimetria também pode estar associada ao movimento orbital da onda, à medida que a onda viaja em direção a águas mais rasas até alcançar a zona de surfe, esta interação com o fundo aumenta, controlando o fluxo e o transporte de



sedimento (CLIFTON *et al.*, 1971), onde a velocidade é grande o suficiente para mover areia fina e formar marcas onduladas. A Teoria de *Airy* ou teoria linear de ondas prevê a mudança da magnitude da velocidade da onda com a diminuição da profundidade da coluna de água, mas não prevê uma assimetria do movimento orbital que se torna maior à medida que a coluna de água diminui e a velocidade máxima em direção a terra torna-se maior do que a velocidade máxima em direção ao mar conforme prevista pela teoria de Stokes (DEAN & EAGLESON, 1966).

É possível identificar uma sequência na ocorrência das formas de leito (Figura 4), indo da profundidade de fechamento até a zona de espriamento, sendo relacionada ao regime de fluxo (CLIFTON *et al.*, 1971; SHORT, 1983).

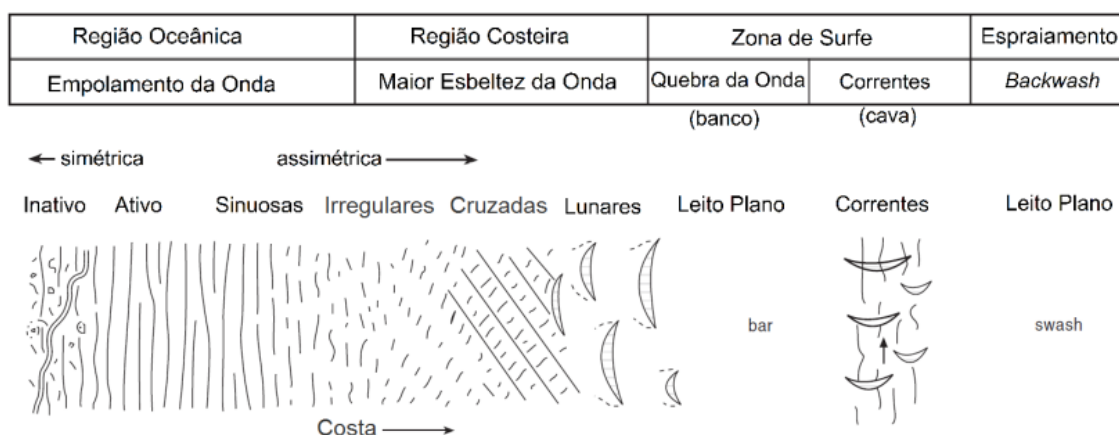


Figura 4 - Esquema de sequência de ocorrência de formas de leito, modificado de SHORT (1999).

Esta sequência de comportamento morfodinâmico em direção à costa, com a diminuição da coluna d'água e o aumento da velocidade de fluxo, progride de marcas onduladas assimétricas para marcas onduladas lunares até chegar a um leito plano (CLIFTON *et al.*, 1971; OSBORNE & VINCENT, 1993). Embora algumas estruturas não estejam sempre presentes, dependendo das condições e da localidade, as posições relativas das diferentes fácies permanecem constantes (CLIFTON *et al.*, 1971; OSBORNE & VINCENT, 1993; SHORT, 1999).

As formas de leito são objetos de estudos desde Sorby em 1859 (ALLEN, 1993), por diversos especialistas em diversas áreas, o que justifica uma diversidade e sobreposição de termos, onde a interpretação é fortemente influenciada pela limitação de experiências/experimentos e dados (AMOS & KING, 1983, BARNARD *et al.*, 2012; FLEMMING, 1978). Além da identificação das formas de leito

relacionadas à assimetria do movimento orbital da onda e de correntes unidirecionais, estas marcas onduladas podem ser classificadas de acordo com suas dimensões, forma, e outras características, de acordo com Ashley (1990), sendo o padrão adotado pela Sociedade de Geologia Sedimentar (SEPM), expresso em forma de quadro (Quadro 1).

**Quadro 1 - Quadro padrão adotado pela Sociedade de Geologia Sedimentar, modificado de Ashley (1990). Fonte: Porpilho, 2015.**

Classificação das Formas de Leito	Sociedade de Geologia Sedimentar (SEPM)			
<b>Classificação de 1° ordem (necessário)</b>				
	pequena	média	grande	muito grande
Comprimento	0,6 - 5m	5 - 10m	10 - 100m	> 100m
Altura	0,075 - 0,4m	0,4 - 0,75m	0,75 - 5m	> 5m
Forma	simétrica (2D)	assimétrica (3D)		
<b>Classificação de 2° ordem (importante)</b>				
Sobreposição	Simple	Composta		
Características do Sedimento	Tamanho	Classificação		
<b>Classificação de 3° ordem (útil)</b>				
Perfil da Forma de Leito	Comprimento	Ângulo de inclinação		
Área de cobertura	Fração do leito coberto pelas feições			
Processo costeiro atuante	Onda	Corrente	Maré	
Característica da corrente	direção	velocidade		

Outra forma de leito presente na plataforma interna e que difere significativamente das formas citadas anteriormente são as denominadas por Cacchione *et al.* (1984) de *Rippled Scour Depressions*. E que em 2004 Murray e Thieller (2004) resolvem usar o termo de *Sorted Bedforms*, pois pesquisas mostraram que não são simples depressões e devido a antiga nomenclatura estar ligada a interpretação da gênese desta feição.

Esta feição apresenta-se como depressões de sutis expressões topográficas, na ordem de um metro, composta por areia grossa (e, em alguns casos fragmentos de concha e cascalho) que é organizada em marcas onduladas, adjacentes a um sedimento mais fino, alcançando de 100 a 200 metros de largura e quilômetros de extensão (CACCHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004; SOUZA & CORREA, 2006; GOLDEINSTEIN *et al.*, 2011; PORPILHO, 2015; ARENDARTCHUK, 2018).

Green *et al.* (2003), cita que ao longo de diversos estudo, várias forçantes hidrodinâmicas têm sido propostas para iniciar a formação destas feições em

plataformas abertas, como: correntes de retorno durante tempestades, ondas e correntes modificadas pela proximidade de irregularidades batimétricas, correntes costeiras geradas por ventos, particularmente por *downwelling* (CACCHIONE *et al.*, 1984) e correntes geradas por ondas. No entanto, os avanços para descrever sobre sua origem e desenvolvimento sugerem que surgem primeiramente por uma auto-organização das classes de sedimento, em vez de interações entre fluxo e topografia (MURRAY & THIELLER, 2004; COCO *et al.*, 2007; GOLDEINSTEIN *et al.*, 2011).

### 1.2.2 Geoacústica

A geofísica marinha rasa tem por finalidade utilizar métodos acústicos para o conhecimento indireto da superfície e subsuperfície marinha. Os equipamentos utilizados para este tipo de investigação possuem tipos de fonte diferentes (Figura 5**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), que emitem espectros contendo altas frequências (> 30 kHz) e que são empregados essencialmente na investigação da batimetria e no imageamento da superfície de fundo. O conjunto de métodos sísmicos que utilizam fontes acústicas, que emitem espectros contendo baixas frequências (< 20 kHz) é empregado na perfilagem de subsuperfície (SOUZA, 2006).

Uma onda sonora propaga-se a diferentes velocidades em função de determinadas características intrínsecas do meio que atravessa. A velocidade na água do mar é relativamente constante em todos os lugares do mundo, pois suas propriedades variam muito pouco, dadas a mesma temperatura, pressão e várias salinidades esperadas (AYRES, 2000), propagando-se com uma velocidade em torno de 1500 m/s.



Figura 5 - Comparação das frequências acústicas e suas aplicações, fonte SOUZA (2006). O equipamento utilizado neste trabalho é caracterizado como de investigação de superfície, mais precisamente de imageamento.

Cada meio caracteriza-se por uma resistência a passagem do som, chamada impedância acústica  $I$ , respondendo a relação entre a densidade do meio,  $\rho$ , num dado ponto e a velocidade de vibração das moléculas,  $V$ , nesse ponto (Eq.1):

$$I = V\rho \quad (\text{Eq.1})$$

Com a impedância acústica pode ser calculado o coeficiente de reflexão que é a diferença das impedâncias entre dois meios, onde maiores diferenças levam a maiores quantidades de energia refletida (AYRES, 2000). O coeficiente de reflexão é o resultado entre a diferença da impedância acústica de dois meios (meio 1 e 2) pela soma, ou seja (Eq.2):

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (\text{Eq.2})$$

São basicamente dois os mecanismos primários que permitem que o som emitido pelo equipamento retorne ao receptor: reflexão e retroespalhamento (*backscattering*). A reflexão está relacionada com o sinal que atinge a superfície de fundo e retorna diretamente ao receptor, numa reflexão total; o retroespalhamento



está relacionado com a interação entre a energia do som e a textura do material da superfície de fundo (SOUZA, 2006).

Na sonografia a onda incidente sobre a superfície estará sujeita a três efeitos (Figura 6), podendo ser transmitida ao substrato, refletida de forma especular, e parte da onda será espalhada, retroespalhamento, pela rugosidade da superfície, e irá se propagar para outras direções, de acordo com a distribuição geométrica da rugosidade (BLONDEL, 2009; RISTOW, 2015).

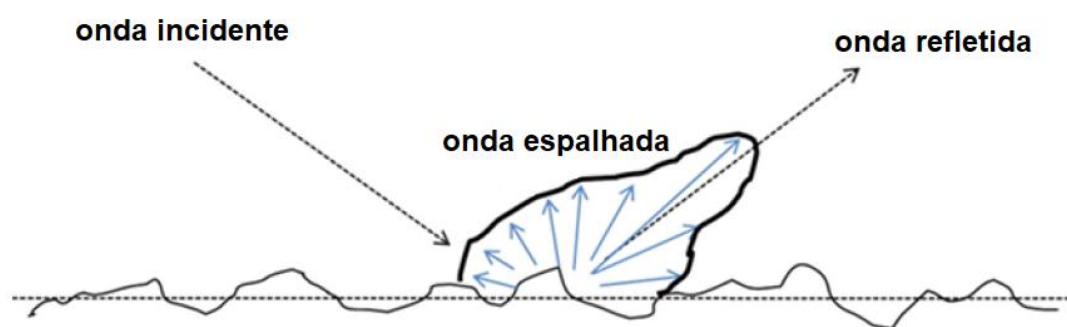


Figura 6 - Representação das ondas refletida e espalhada, modificado de Lurton and Lamarche, (2015).

A intensidade do retroespalhamento no fundo do mar é governada pelo coeficiente de retroespalhamento,  $S_b$ , que é a taxa de intensidade do espalhamento do som por unidade de área e a intensidade do plano incidente de onda. Onde  $P_b$  é a potência espalhada por unidade de ângulo sólido,  $E_i$  é a energia incidente e  $A$  a área ensonificada do fundo marinho (Eq.3).

$$S_b = \frac{P_b}{(E_i \times A)} \quad (\text{Eq.3})$$

O retroespalhamento é afetado (Figura 7) em ordem decrescente de importância pela geometria do sistema sensor-alvo (ângulo de incidência, inclinação local), características físicas da superfície (velocidade do som, densidade, rugosidade de micro-escala) e a natureza intrínseca da superfície (composição, densidade, importância relativa do volume vs. espalhamento de superfície para a frequência selecionada e configuração de imagem) (BLONDEL, 2009).

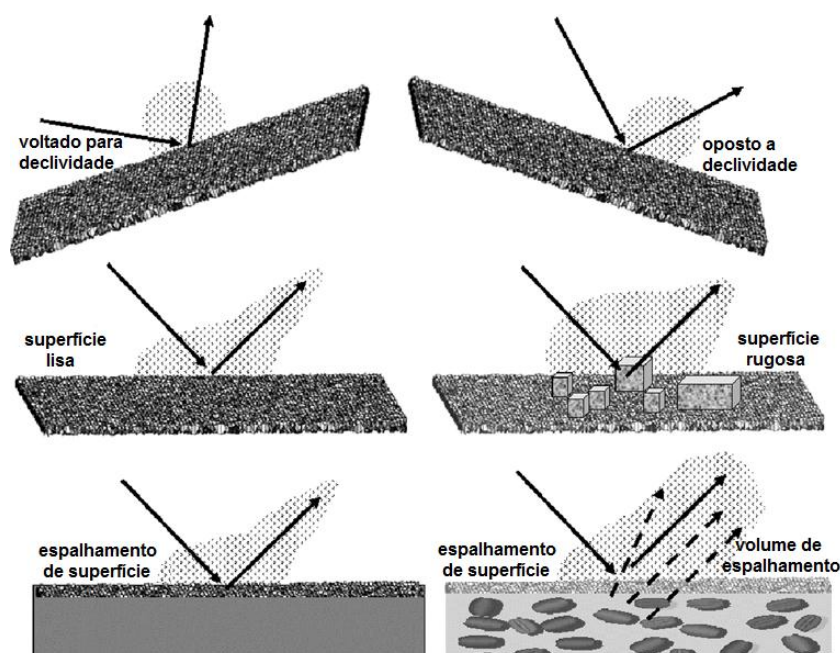


Figura 7 - Fatores que influenciam o retroespalhamento no fundo marinho, modificado de BLONDEL, 2009.

### 1.2.3 Interferometria

Diversas áreas utilizam-se da ciência e técnica da interferometria como modo de mensuração de alta precisão baseada em fenômenos de interferência. Na geofísica marinha esta técnica é empregada em equipamentos chamados de interferômetros ou diferenciadores de fase, que são essencialmente sistemas de sonar de varredura lateral com múltiplos transdutores de cada lado (BLONDEL, 2009). Sendo esta a técnica utilizada pelo equipamento, EdgeTech 4600 usado no levantamento de dados deste trabalho

Esta nova geração de sonares de varredura lateral pode agora produzir imagem e batimetria ao mesmo tempo, usando a interferometria (BLONDEL, 2009), ou seja, além de revelar a geologia e morfologia do ambiente, tem-se o processo de detecção do fundo, que está relacionado com o tempo exato e o ângulo de chegada para cada profundidade medida (IHO, 2011).

O transdutor emite o sinal e um arranjo de receptores os recebe, após interagir com o fundo, e a partir da diferença de fase entre os sinais recebidos entre os dois lados de receptores tem-se o ângulo de elevação de um alvo no fundo do mar (BLONDEL, 2009; DODD, 2013; LURTON, 2000). Esta diferença de fase  $\Delta\varphi$

(Figura 8) entre os arranjos de receptores A e B, corresponde à diferença do caminho de volta do retroespalhamento do ponto M (um ponto na superfície marinha) que é usado para deduzir o ângulo de chegada do alvo, e  $a$  a distância entre os transdutores (Eq. 4 e 5):

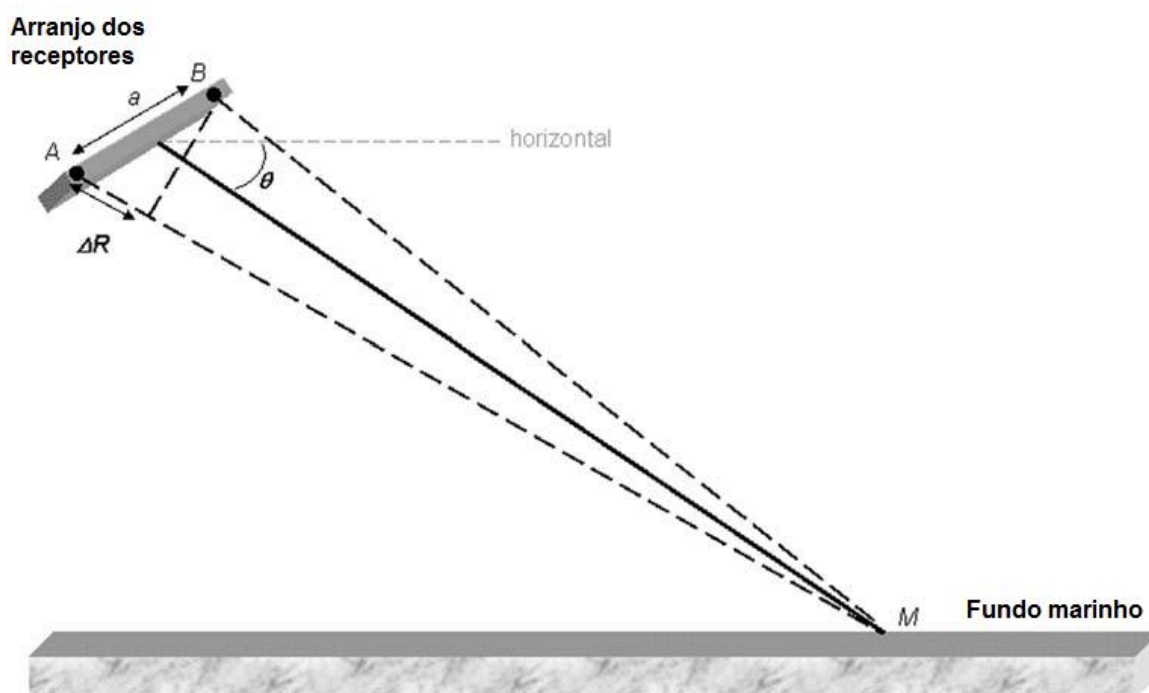


Figura 8 - Princípio da interferometria. O sinal retroespalhado do ponto M (fundo marinho) é recebido em dois receptores diferentes, A e B.  $\Delta R$  é a diferença dos caminhos acústicos entre esses dois pontos dos receptores, relacionado com a direção  $\theta$  do retorno do fundo marinho, modificado de Blondel, 2009.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \times \Delta R_{AB} = \frac{2\pi}{\lambda} \times a \times \sin\theta \quad (\text{Eq.4})$$

$$\theta = \arcsin \frac{\Delta\varphi}{\frac{2\pi}{\lambda} a} \quad (\text{Eq.5})$$

Como a estratégia de montagem do transdutor é otimizada para ângulos afastados da vertical, considera-se que esses sistemas de diferenciadores de fase coletam boas informações para faixas relativamente largas, mesmo em águas rasas. No entanto, os dados de batimetria do diferenciador de fase são limitados pelo conceito de refração e movimento, que limitam as larguras de varredura. Por essa

razão, os trechos do equipamento são às vezes considerados com duas seções (Figura 9), uma parte para boa batimetria e uma parte útil apenas para o retroespalhamento do fundo do mar (LURTON & LAMARCHE, 2015).

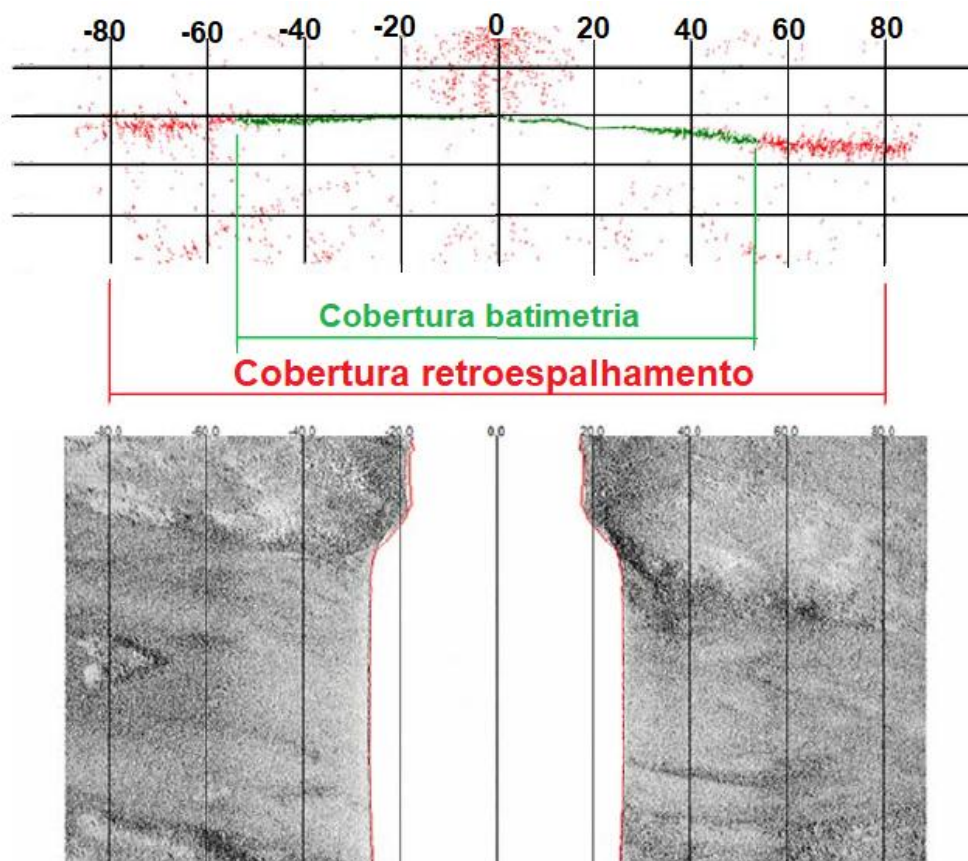
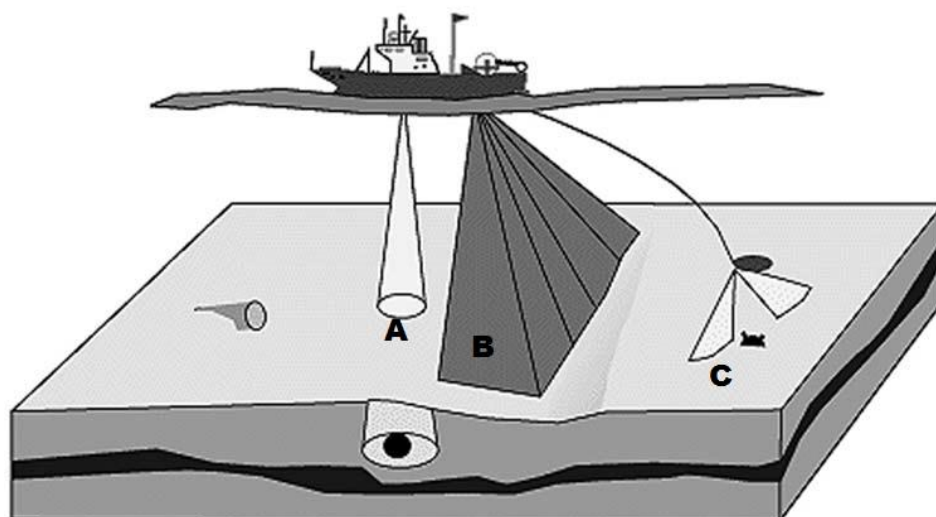


Figura 9 - Exemplo de dado de um diferenciador de fase, ilustrando a diferença entre a largura de varredura para batimetria e para o retroespalhamento, modificado de Lurton & Lamarche( 2015).

A batimetria é a medida da coluna d'água acima do fundo marinho, essa mensuração tem por finalidade identificar a profundidade e a topografia da superfície submersa. Dentre os equipamentos utilizados para o imageamento de superfície e levantamento hidrográfico (Figura 10) são usualmente utilizados ecobatímetro monofeixe, ecobatímetro multifeixe e sonar de varredura (BLONDEL, 2009), sendo que este último quando opera pelo sistema de interferometria fornece a batimetria de varredura.



**Figura 10 - Diferentes equipamentos utilizados para imageamento de superfície e levantamento hidrográfico. A monofeixe, B multifeixe e C batimetria de varredura. Modificado de Blondel (2009).**

Um sistema monofeixe (Figura 10A) efetua um único registro de profundidade a cada pulso acústico emitido, resultando em linhas ou seções batimétricas levantadas no percurso da navegação. Sua principal vantagem são menores custos e menor tempo de processamento, e em contrapartida é possível que algumas informações importantes sobre a superfície do fundo não sejam coletadas (GAGG, 2016).

Enquanto os equipamentos de multifeixe e de interferometria (diferenciador de fase) cobrem uma área maior, efetuando um mapeamento de faixas extensas. Sendo que a diferença fundamental entre estes dois sistemas é a forma de determinação da direção a partir da qual o sinal chega. No sistema multifeixe (Figura 10B) o arranjo do transdutor receptor é criado para escutar em uma determinada direção, feito por feixes mapeando uma faixa larga do fundo marinho. Com o sistema interferométrico (ou diferenciador de fase) (Figura 10C) o sinal é recebido por vários receptores, e técnicas de processamento de sinais são utilizadas para determinar o ângulo de recepção através da medição das diferenças de fase recebidas (DODD, 2013).

Três pontos devem ser levados em consideração para um correto levantamento batimétrico: o posicionamento, os métodos de controle horizontal e métodos de controle vertical (IHO, 2011), fatores estes que devem ser corrigidos durante o levantamento e no momento do processamento dos dados, independente do sistema batimétrico utilizado.

#### 1.2.4 Precisão, Acurácia e Performance do Levantamento

Dentro da aquisição de dados existe uma série de fatores que devem ser corrigidos para que se possa ter um controle horizontal, controle vertical e de posicionamento da área que está em questão. Medir a profundidade requer um conhecimento específico do meio físico, da acústica submarina, dos diversos equipamentos utilizados na medição de profundidades, dos sensores de determinação de altitude (IHO, 2011).

Faz-se necessário determinar o posicionamento com certo grau de confiança e juntamente a marcação de tempo destas posições horizontais, devendo coincidir com a marcação de tempo de todos os outros equipamentos. A determinação da posição de pontos sobre a superfície terrestre requer o estabelecimento de coordenadas adequadas num determinado sistema geodésico de referência (DATUM) (IHO, 2011). Além de utilizar um método de posicionamento, o Sistema de Navegação por Satélite (GNSS), sistema de posicionamento absoluto a 3 dimensões, baseado em satélites.

A correção dos movimentos da embarcação, utilizando sensores inerciais, oferece uma melhoria considerável na qualidade dos levantamentos hidrográficos (HYPACK, 2013). Essas correções são feitas quanto aos movimentos de *pitch*, *roll*, *yaw* e *heave* (Figura 11). Arfagem ou *Pitch* é a rotação em torno do eixo transversal, guinada ou *Yaw* é a rotação em torno do eixo vertical, rotação ou *Roll* é a rotação em torno do eixo longitudinal e afundamento ou *Heave* que é a translação na direção do eixo vertical.

Todos os equipamentos da embarcação terão que estar integrados a esses sistemas de posicionamento, onde se escolhe geralmente o centro de massa da embarcação e transpõem-se todos os equipamentos para este ponto, neste caso transposto para a localização do sensor de movimento MRU (*offset*, Figura 12).



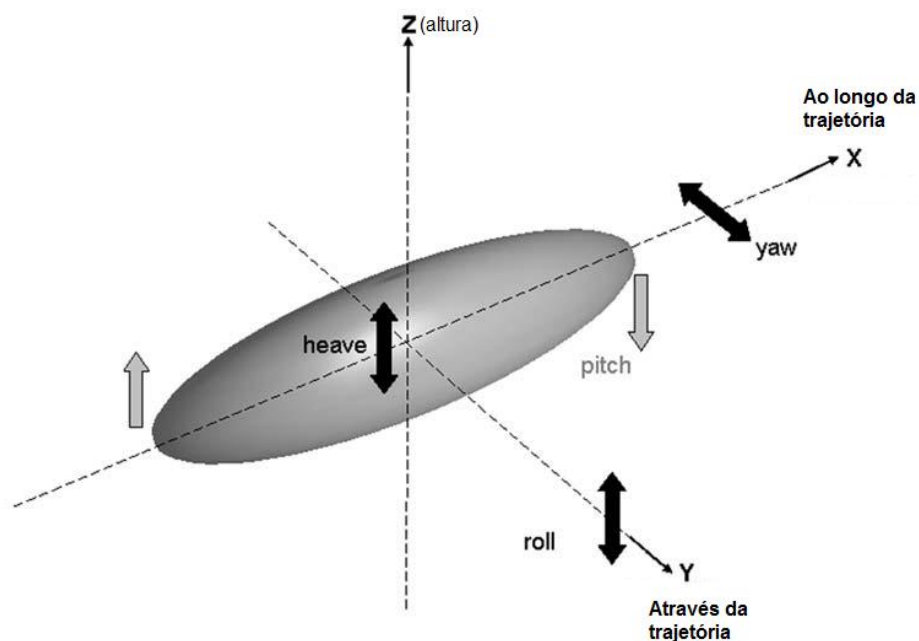


Figura 11 - Movimentos axiais da embarcação, modificado de BLONDEL ( 2009).

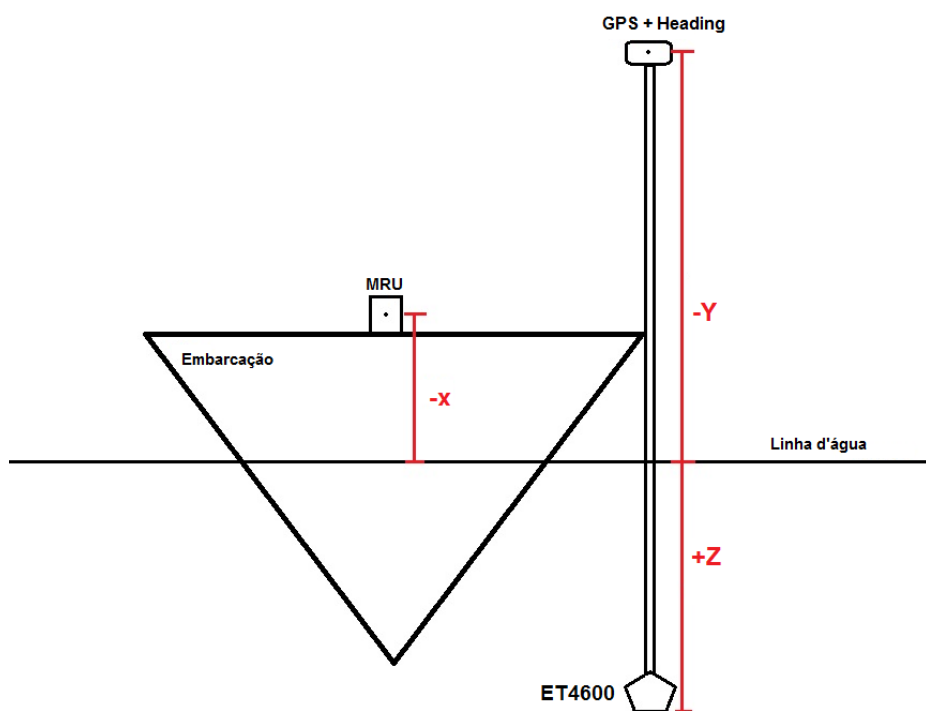


Figura 12 - Offsets da embarcação, modificado de HYPACK, 2013.

A calibragem (*patch test*) (Figura 13) é um teste com coleta de dados e procedimentos de processamento para calibrar os ângulos de *yaw*, *roll* e *pitch*, junto à latência do sistema de posicionamento (HYPACK, 2013). Este teste modifica

sucessivamente os ângulos de montagem do equipamento por ângulos medidos em campo. A importância da correção do ângulo de montagem pode ser verificada através do Quadro 2, onde um deslocamento de dois graus, apenas, introduz erros significativos a profundidade.

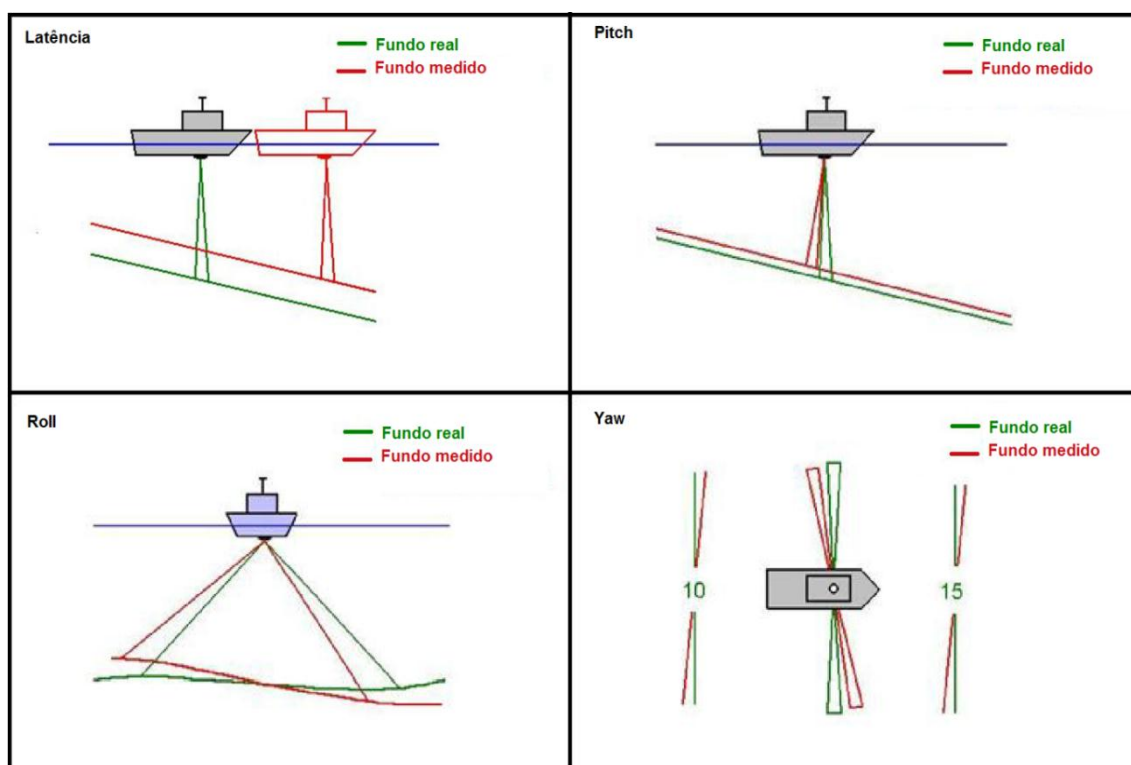


Figura 13 - Correções efetuadas durante o *patch test*, modificado HYPACK, 2013.

Quadro 2 - Valores das modificações angulares e os erros verticais e horizontais referentes, modificado de Hypack 2013. A exemplo da segunda linha, se o ângulo esperado for de 10° mas ele estiver a 12°, poderá acarretar um erro vertical de 0,27 m e um erro horizontal de 1,40 m.

Ângulo esperado	Ângulo atual	Erro vertical	Erro horizontal
0	2	0.02	1.40
10	12	0.27	1.40
20	22	0.53	1.39
30	32	0.84	1.39
40	42	1.20	1.38
45	47	1.42	1.37
50	52	1.69	1.37
60	62	2.44	1.36
70	72	3.86	1.33
80	82	7.95	1.26



A maré deve ser aplicada para correção vertical do dado, no entanto, existem muitas vezes, um erro relacionado a concordância do local em que o marégrafo é instalado e o local da área de estudo, que é resolvido com a instalação de mais de um marégrafo. Ainda para aumentar a precisão vertical é determinada a velocidade de propagação do som na água, pois é o tempo de ida e volta da propagação do sinal acústico na água que será convertido na profundidade.

### 1.2.5 Sonografia

O sonar de varredura lateral (*side scan sonar*) é um método de levantamento acústico de varredura lateral no qual o fundo marinho, em um ou ambos os lados da embarcação de aquisição, é explorado por feixes de som de alta frequência, transmitidos por transdutores montados no casco do navio ou em um peixe (KEAREY *et al.*, 2009). O sinal acústico de alta frequência emitido pelo sonar não penetra através dos estratos sedimentares, levando-se em conta a alta frequência emitida, porém permite, por outro lado, ao retornar ao receptor, a obtenção de informações detalhadas da superfície de fundo que possibilita a identificação, com grande precisão, de feições na superfície de fundo, como estruturas sedimentares, contatos litológicos ou objetos diversos (naufrações, dutos etc.) (SOUZA, 2006).

Os sinais acústicos emitidos pelo sistema possuem propriedades, como largura vertical e horizontal do feixe, e inclinação em relação ao plano da superfície da água (SOUZA, 2006) o que gera algumas distorções geométricas relacionadas a forma como é feita a aquisição. São dois os tipos de distorções: distorções de intensidade, que são desvios da relação ideal linear entre a intensidade da imagem e força de retroespalhamento dos materiais no fundo, e distorções geométricas, que correspondem a discrepâncias entre a localização relativa das características na imagem e sua verdadeira localização no fundo do mar (COBRA, OPPENHEIM, JAFFE, 1992).

O desempenho do sonar pode ser verificado através das resoluções (Figura 14) que este apresenta. A resolução ao longo da trajetória (*along-track*)  $\Delta x$  (Eq.6) é a menor distância percorrida sobre o fundo durante o intervalo de recepção, sendo uma função da distância R e a largura do feixe horizontal  $\theta_h$  (BLONDEL, 2009).

$$\Delta x = R \times \sin\theta_h \quad (\text{Eq.6})$$

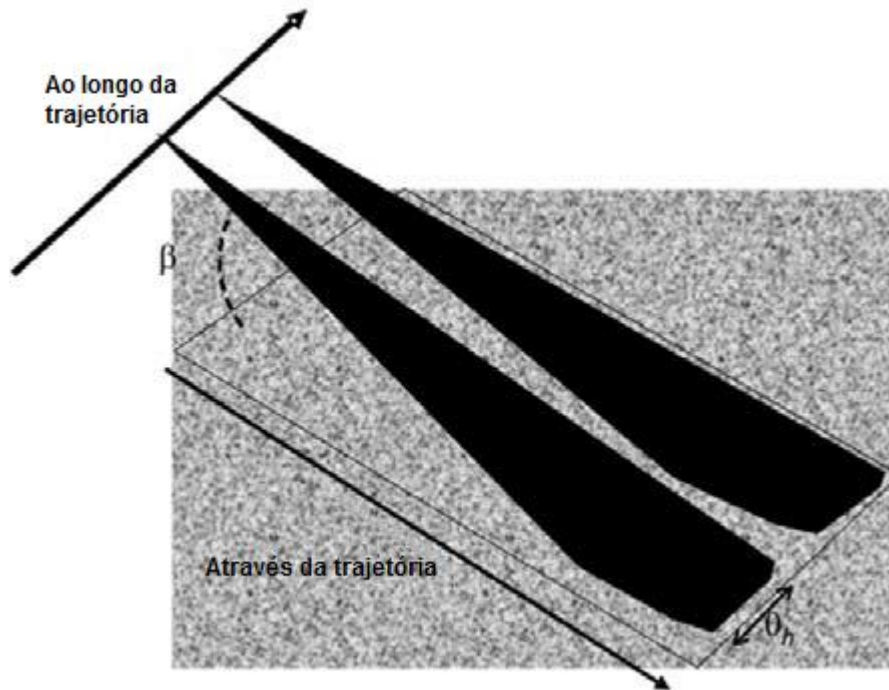


Figura 14 - Desenho esquemático sobre as resoluções ao longo da trajetória (*along-track*) e através da trajetória (*across-track*), modificado de Blondel, 2009.

A resolução através da trajetória (*across-track*), ou resolução de alcance,  $\Delta y$  é uma função do comprimento efetivo do pulso  $\tau$  do transdutor, a velocidade do som na água  $c$ , e o ângulo local de inclinação  $\beta$  (muitas vezes desconhecido) é substituído então por zero ou então substituído pelo valor esperado por um fundo marinho plano (Eq.7).

$$\Delta y = \frac{c\tau}{2} \times \frac{1}{\cos\beta} \quad (\text{Eq.7})$$

Existe uma altura ótima para a localização do sonar de varredura acima do fundo marinho, que é 10% do alcance lateral em utilização. Rebocar o equipamento muito próximo ao fundo pode reduzir a distância a partir da qual os ecos são recebidos perdendo parte do sinal, ao passo que rebocá-lo alto demais pode não formar as sombras acústicas atrás das obstruções, tornando mais difíceis a detecção de alguns alvos e feições (IHO, 2011).

A imagem do sonar não é a representação de como o fundo do mar seria se a água fosse de alguma forma removida do oceano e sim, é uma representação gráfica de como o fundo do mar interage com a energia acústica, podendo gerar certas armadilhas em interpretações visuais (JOHNSON & HERLFERTY, 1990).

Para que esta representação aconteça existe a fusão do sinal e sua conversão em *pixels*, mas deve-se levar em consideração que o *pixel* em si pode não representar nada ou ainda representar erroneamente uma feição. Devido a limitação no armazenamento de dados e da velocidade computacional a resolução realizada pode ser subestimada, pois reduzem o tamanho de cada feixe (*swath*) para 1024 *pixels* (BLONDEL 2009). Se o tamanho do pixel é maior que a distância medida os diferentes valores de retroespalhamento podem sofrer suavização ou perda de detalhes de pequena escala. Inversamente se o tamanho do pixel é menor, será necessária uma interpolação e é provável produzir erros através da criação de novos dados ou distorcendo feições existentes (BLONDEL, 2009).

As sombras estão relacionadas com o ângulo de inclinação (*grazing angle*) e a altura de mascaramento do objeto, e eles podem ser analisados para obter estimativas da forma e tamanho da estrutura (Figura 15). A altura  $h$  deste objeto pode ser calculada utilizando o comprimento  $\Delta R$  desta zona de sombra, seu alcance máximo  $R$ , e a altura  $H$  do sonar acima do fundo marinho (Eq.8) (BLONDEL, 2009).

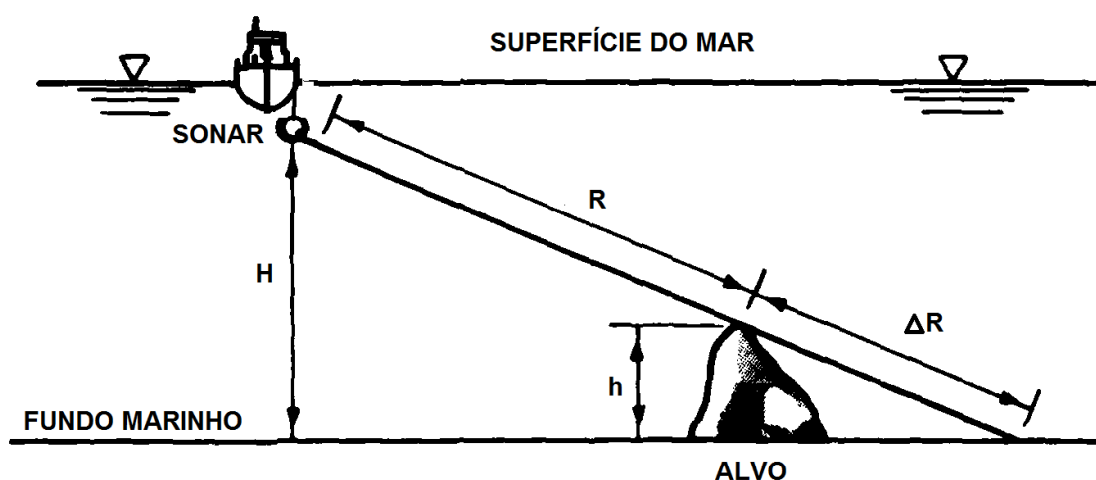


Figura 15 - Cálculo da altura do alvo através da sombra, modificado de Clausner & Pope (1988).

$$\frac{H}{R} = \frac{h}{\Delta R} \leftrightarrow h = \Delta R \times \frac{H}{R} \quad (\text{Eq.8})$$

De maneira geral, quanto mais grosso for o sedimento maior será a quantidade de energia refletida. Assim sendo uma areia grossa refletirá mais energia do que um sedimento lamoso. Isso acontece porque a irregularidade e a área de incidência causada por grãos maiores permitem que a energia incidente em determinados pontos seja preferencialmente refletida (AYRES NETO, 2000).

A análise visual da imagem acústica contínua gerada pelo sonar permite reconhecer as principais características da superfície de fundo (contatos entre diferentes materiais, relevo etc.), tendo como base os padrões texturais observados nas imagens, a geometria das feições identificadas e a refletividade acústica da superfície (SOUZA, 2006).

## **2 Objetivos**

- Identificar e caracterizar feições de fundo da plataforma continental interna da região norte da Ilha de Santa Catarina por meio de processamento de dados de batimetria e sonografia obtidos com um interferômetro (diferenciador de fase) de 540 KHz, a fim de relacionar com a hidrodinâmica local.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Processar dados de batimetria de varredura lateral;
- Processar dados de sonografia;
- Produzir mapa de padrões sonográficos da área de estudo.

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 Origem dos dados

Os dados utilizados para realização deste trabalho fazem parte do projeto: Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação da zona costeira: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. O levantamento aconteceu entre os anos de 2013 e 2014, fornecendo dados de batimetria e sonografia, dados de maré e dados de velocidade do som na água. Os dias de levantamento para cada subárea podem ser verificados na Tabela 1, acompanhado da data dos *offsets* e de *patch test*.

Tabela 1 - Dias de levantamento em cada subárea, acompanhado da data do *offset* e *patch test* utilizados para correção.

Subáreas	Dias de levantamento	Patch test utilizado	Offsets
Ingleses	25/10/2013	29/10/2013	09/10/2013
	29/10/2013		
	30/10/2013		
	05/06/2014	05/06/2014	24/03/2014
	09/06/2014		
	10/06/2014		
Ponta das Feiticeiras	10/06/2014	05/06/2014	24/03/2014
Brava	09/06/2014	05/06/2014	24/03/2014
	10/06/2014		
Ponta do Rapa	11/06/2014	05/06/2014	24/03/2014
	09/07/2014		
	10/07/2014		
Lagoinha	25/06/2014	05/06/2014	24/03/2014
	09/07/2014		

A aquisição de dados, batimétricos e sonográficos, foi realizada com um interferômetro EdgeTech® 4600 (Figura 16) que opera com frequência de 540 Khz (especificações do equipamento, Anexo A). O interferômetro estava acoplado à embarcação, associado a equipamentos periféricos como o *DGPS/Heading* Novatel

FlexPack 6 e o sensor de movimento (MRU) SMC-108. Existindo dois *offsets* diferentes, um para cada ano.



Figura 16 - À direita interferômetro Edgetech 4600 e a esquerda equipamento instalado na embarcação. Fonte: acervo fotográfico LOC (Laboratório de Oceanografia Costeira).

Os dados de velocidade do som na água do mar foram adquiridos através de um perfilador acústico Digibar S, com a finalidade de diminuir as incertezas verticais no momento do processamento dos dados de batimetria. Ao menos um perfil de velocidade do som na água foi realizado por dia de levantamento, sendo estes arquivos salvos na extensão *.vel*, formato exigido pelo *software* de processamento. Segundo Hypack (2013), o manual do *software* de processamento de dados de batimetria, sugere-se a opção de um arquivo de velocidade do som na água se na área esta velocidade for homogênea durante o levantamento.

Os dados de maré, utilizados para correção, foram oriundos de dois marégrafos da região, o principal deles localizado na Praia da Armação, o qual ficou inoperante em dois dias de levantamento. Para os dias 09/07/2014 e 10/07/2014 utilizou-se os dados de maré cedidos pelo Laboratório de Hidráulica Marítima - UFSC, que possuem um marégrafo em funcionamento localizado na Praia de Jurerê. A rotina utilizada e o formato necessário para o *software* de processamento foram executados por colaboradores do Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC).

Tanto o processamento da batimetria quanto o da sonografia foram setorizados, levando o nome da praia ou do promontório adjacente ao levantamento,

são elas Praia dos Ingleses, Praia Brava, Praia da Lagoinha, Ponta do Rapa e Ponta das Feiticeiras.

### 3.2 Processamento dos dados de batimetria de varredura

Para o processamento utilizou-se metodologias segundo Hypack, (2013) e IHO, (2011). Os dados brutos da batimetria de varredura, em formato HS2, foram processados no *software* HYPACK® 2013, seguindo etapas (Figura 17) necessárias através da ferramenta 64-BIT HYSWEEP® EDITOR.

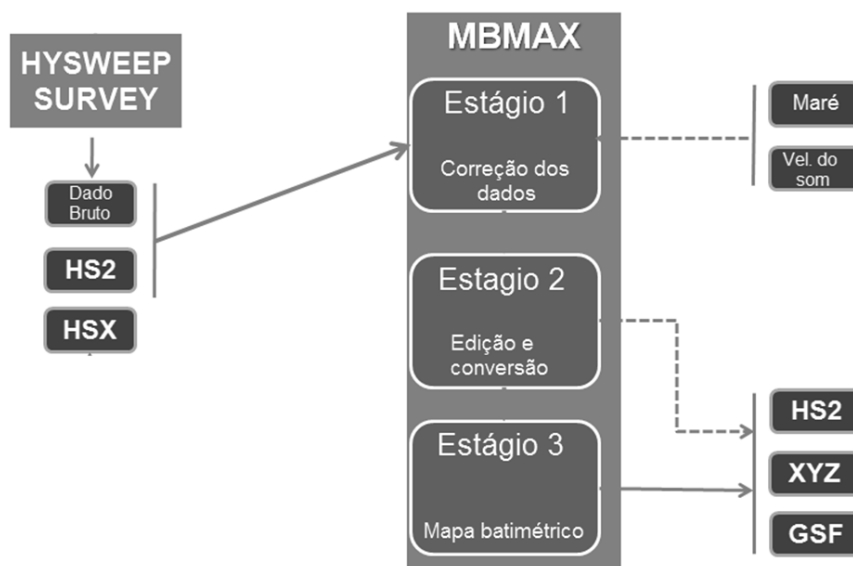


Figura 17 - Fluxograma das etapas utilizadas para o processamento da batimetria de varredura, modificado de Hypack (2013).

Cada dia de levantamento foi processado separadamente, inserindo primeiramente os arquivos de maré e o arquivo do perfil da velocidade do som na água, para as devidas correções verticais da batimetria. Aqui foram também verificados os dados do *offset*, determinados pela medição das distâncias entre a antena receptora do sinal de GPS e a posição dos equipamentos utilizados a bordo e do *patch test*, que podiam ser averiguados através do caderno com anotações de campo.

A etapa seguinte foi a retirada de forma manual dos dados espúrios (Figura 18), que são ruídos oriundos do levantamento e não pertencem ao substrato marinho em questão. Estes ruídos tiveram origens diversas, os principais



identificados neste levantamento foram gerados pela própria embarcação, outras embarcações e seres vivos na coluna d'água.

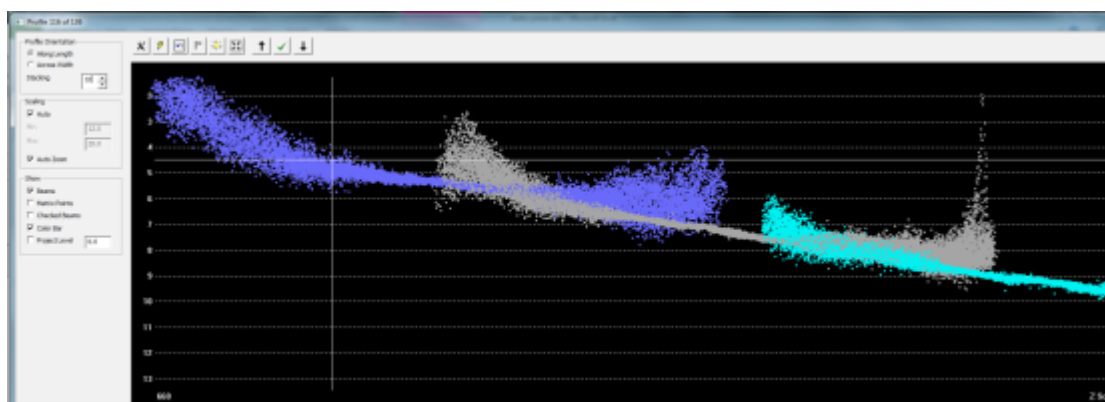


Figura 18 - Visualização da janela do *software* Hypack, com os dados brutos de batimetria de varredura para a retirada dos dados espúrios. Nota-se que quanto mais próximo a extremidades de cada linha a dispersão dos pontos aumenta.

Para finalizar as linhas foram exportadas com resolução de 1 metro, em arquivos XYZ, sendo latitude (X), longitude (Y) e profundidade (Z). Estes dados foram interpolados utilizando a técnica do vizinho mais próximo, escolhido por gerar uma grade regular sem modificação dos valores observados, através do *software* Surfer® 2013, exportando um arquivo GRD, para a geração dos mapas com as cotas batimétricas.

Ao finalizar o processamento de cada dia de levantamento e fazer a união destes arquivos, verificou-se que em alguns pontos da junção havia degraus não pertencentes ao substrato/morfologia local (Figura 19). Na busca pela identificação de possíveis erros, tanto de aquisição quanto de processamento, alguns eventuais problemas foram identificados como: falta de *patch test* para um dia de levantamento, modificação da posição do transdutor sem a realização de um novo *patch test* e a segmentação da mesma área de estudos onde a aquisição ocorreu com grandes intervalos de tempo (de um mês a oito meses de diferença).

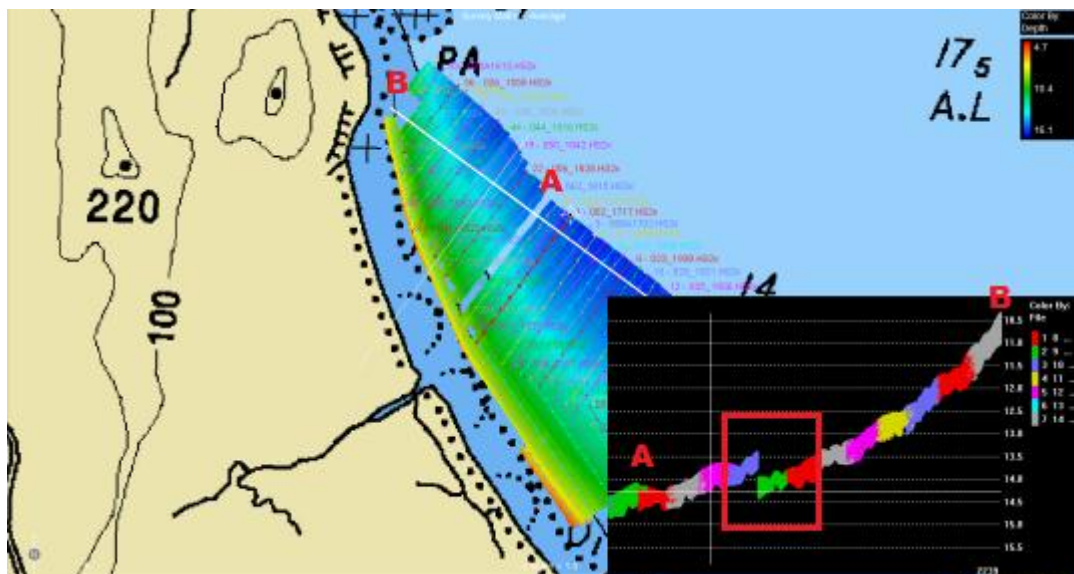


Figura 19 - Identificação de um dos desníveis detectados na junção de levantamentos de dias diferentes, delimitado pelo polígono vermelho apresenta uma diferença de cinquenta centímetros.

A quantidade de *patch tests* efetuados durante a campanha é considerada inadequada, no caso um para cada ano de levantamento. Levando em considerações que o transdutor tinha sua posição inicial modificada ao final de cada dia de operação, sendo retirado da água e recolocado no dia seguinte sem a realização de um novo *patch test*. A diferença gerada através desta ação muitas vezes deixava os transdutores do interferômetro com um ângulo de incidência inclinado não correspondendo às mesmas marcações dos *patch tests* utilizado para as devidas correções.

### 3.3 Processamento de dados de sonografia

O processamento da sonografia foi realizado através do *software* SonarWiz5®, em algumas etapas fundamentais. O primeiro passo foi criar um projeto para cada área de estudo, carregar os dados sonográficos em formato JSF e selecionar o sistema de coordenadas.

Em seguida efetuou-se o *bottom track*, procedimento que visa identificar a interface entre o fundo e a coluna d'água, para que esta zona de sombra (nadir) seja retirada do sonograma (Figura 20).

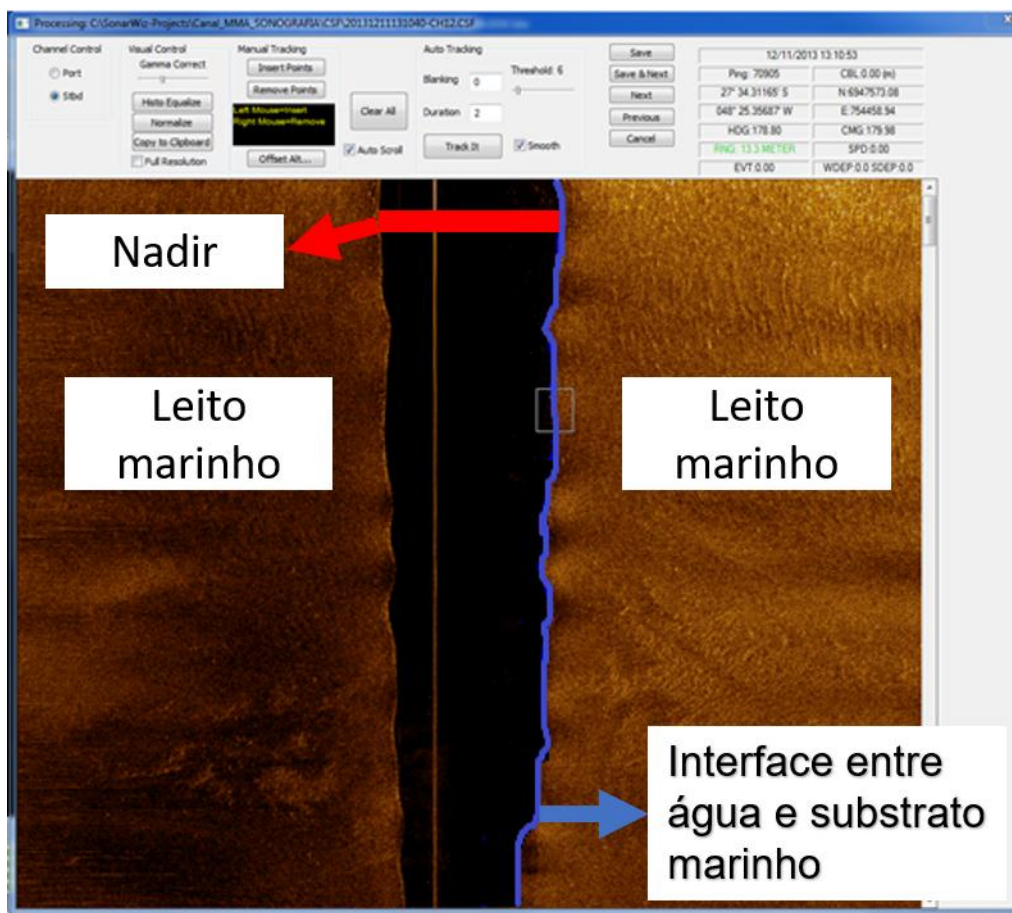


Figura 20 - Visualização da janela de edição do sonograma no *software* SonarWiz. Identificando o leito marinho nos dois lados do nadir, e a interface entre a coluna de água e o substrato.

Em algumas áreas, como nos Ingleses existiu a necessidade de retirar partes do sonograma que apresentavam ruídos gerados pela embarcação, contando com a diminuição ou mesmo exclusão de um lado da varredura, o que só foi possível devido a grande sobreposição efetuada durante o levantamento, chegando em 300% de cobertura.

Finalmente foi aplicado ganho, o qual se baseou na preservação das nuances naturais dos sonogramas, na tentativa de não comprometer as características interpretáveis dos dados de sonar. Usou-se o ganho AGC (*Automatic Gain Control*), algoritmo que trata de uma medida média local da força do sinal, o qual é reescalado a todo o dado em larga escala de acordo a essa média. Como produto, gerou-se mosaicos que foram exportados no formato GeoTIFF.

Nestes mesmos mosaicos foram demarcados, através de polígonos, alguns padrões sonográficos relacionados a feições de fundo. Polígonos que foram exportados no formato SHP para geração de figuras.

Através da sonografia também foi possível verificar e corroborar a inclinação do transdutor durante os levantamentos, ou seja, o equipamento não está na mesma posição em que estava ao ser realizado o *patch test* usado para a calibração. Isto fica evidenciado através da diferença de intensidade de sinal nos dois lados da varredura (Figura 21), o que sugere que um dos lados dos transdutores estava mais inclinado para um dos lados, intensificando assim o sinal de uma das varreduras. Este efeito também poderia ter acontecido por diferença de profundidade, no entanto é excluída esta possibilidade a partir do momento que o levantamento, neste trecho, aconteceu perpendicular a costa e em várias outras linhas este padrão é verificado, inclusive no tratamento batimétrico, ficando sempre o mesmo lado do equipamento com este efeito.

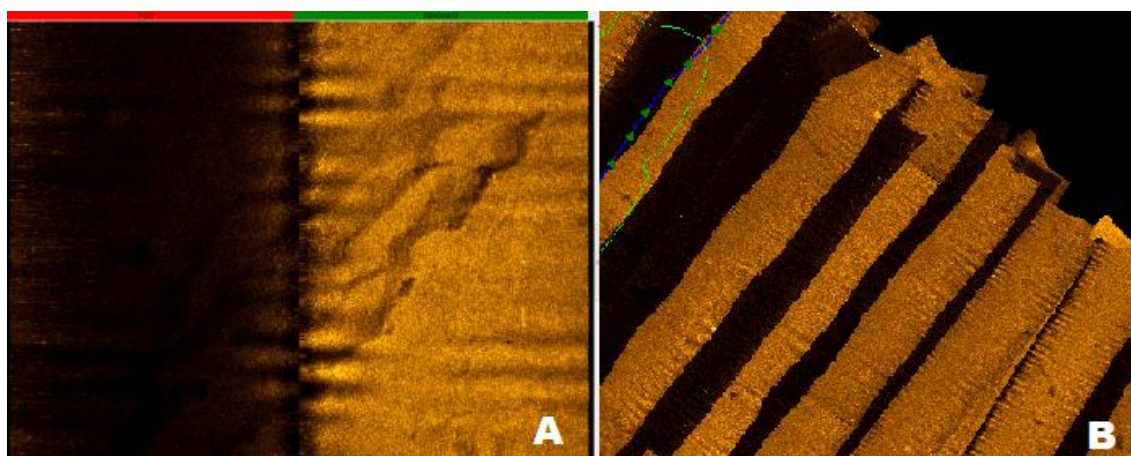


Figura 21 - Sonograma que mostra a diferença de intensidade do sinal gerada pela mudança de posição do equipamento. Em A um sonograma com um lado de maior intensidade e outro de menor; em B o mesmo padrão seguido em várias outras linhas.

### 3.4 Classificação das formas de leito

Para a classificação das formas de leito identificadas seguiu-se o trabalho de Porpilho (2015), que gerou um quadro (Figura 22) autoexplicativo para identificação visual. Ambos baseados no padrão adotado pela Sociedade de Geologia Sedimentar (*SEPM*), conforme Ashley (1990) e também o definido por Short (1999).

O primeiro passo, no *software* Sonarwiz, foi identificar o tipo da forma, feito de forma visual e comparativa ao quadro, sendo identificada a área de abrangência através de confecção de polígonos no sonograma. No mesmo programa ainda foi efetuado as medições de comprimento da feição, e a altura foi verificada através do Hypack.



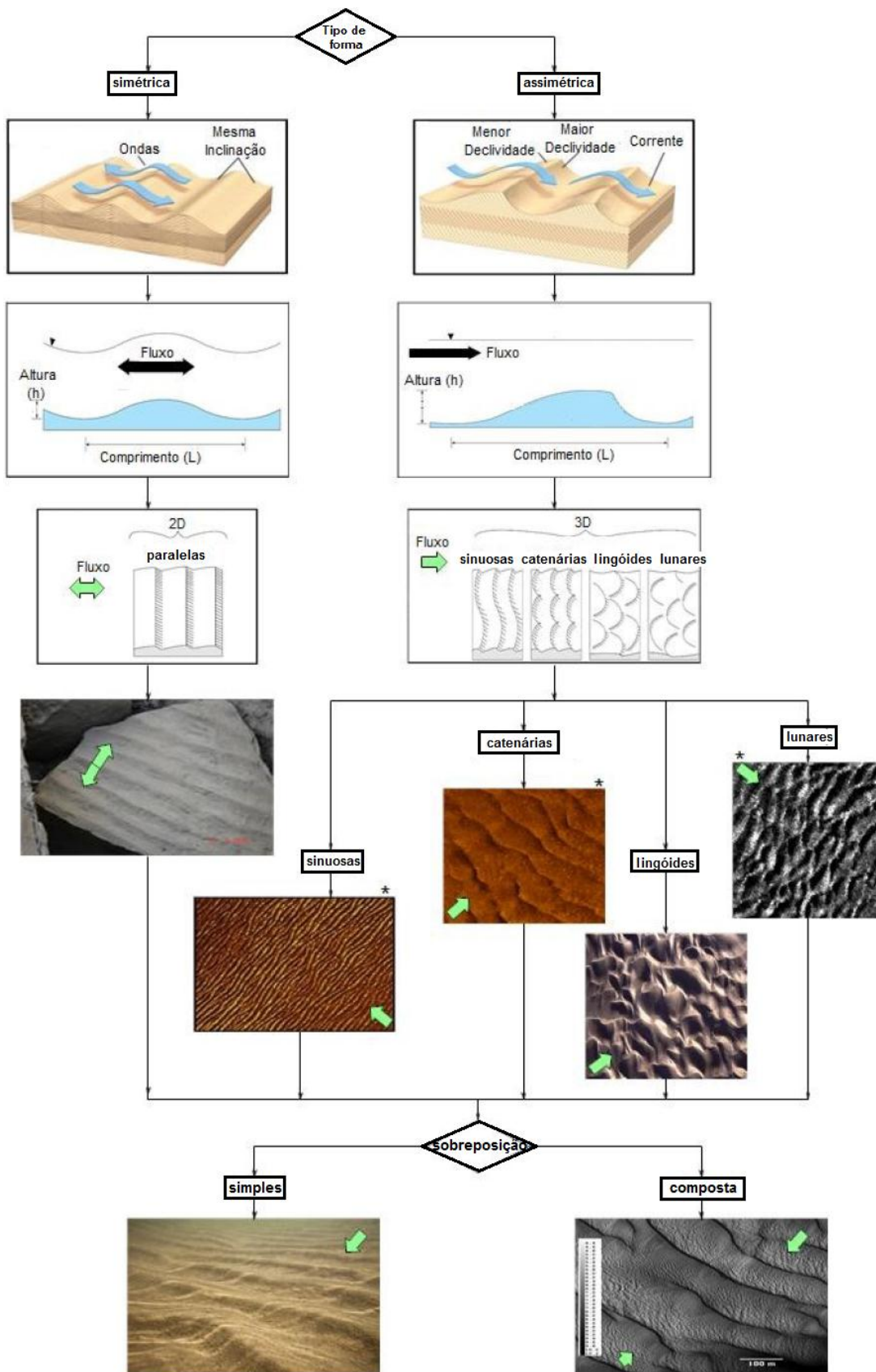


Figura 22 - Sequencia explicativa quanto a classificação dos tipos de forma de leito. Fonte: Porpilho, 2015.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Ingleses

Os dados de sonografia dos Ingleses apresentaram uma grande cobertura da área (Figura 23), devido ao espaçamento entre as linhas no momento da aquisição. Esta sobreposição de 300% foi importante na hora da identificação de feições, pois algumas áreas apresentaram ruído ou tiveram a resolução comprometida devido a relação abertura e profundidade.

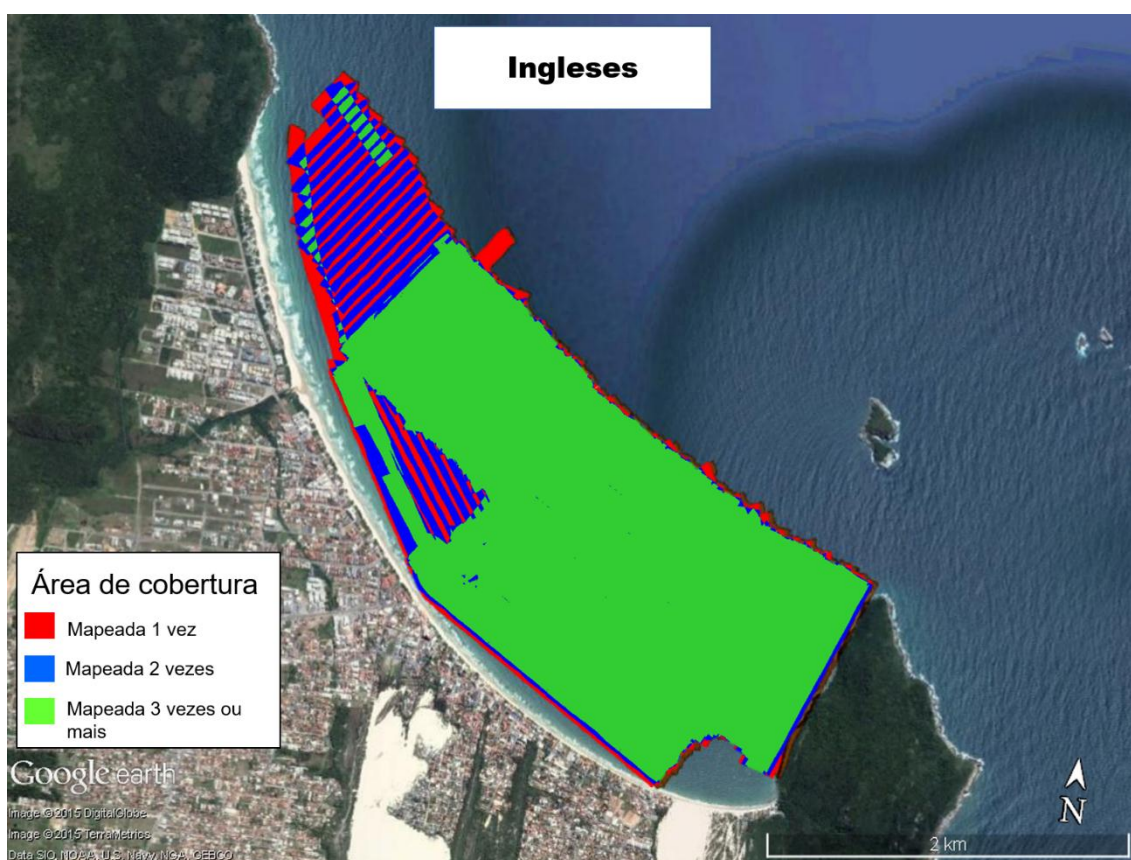


Figura 23 - Representação da cobertura efetuada durante o levantamento nos Ingleses.

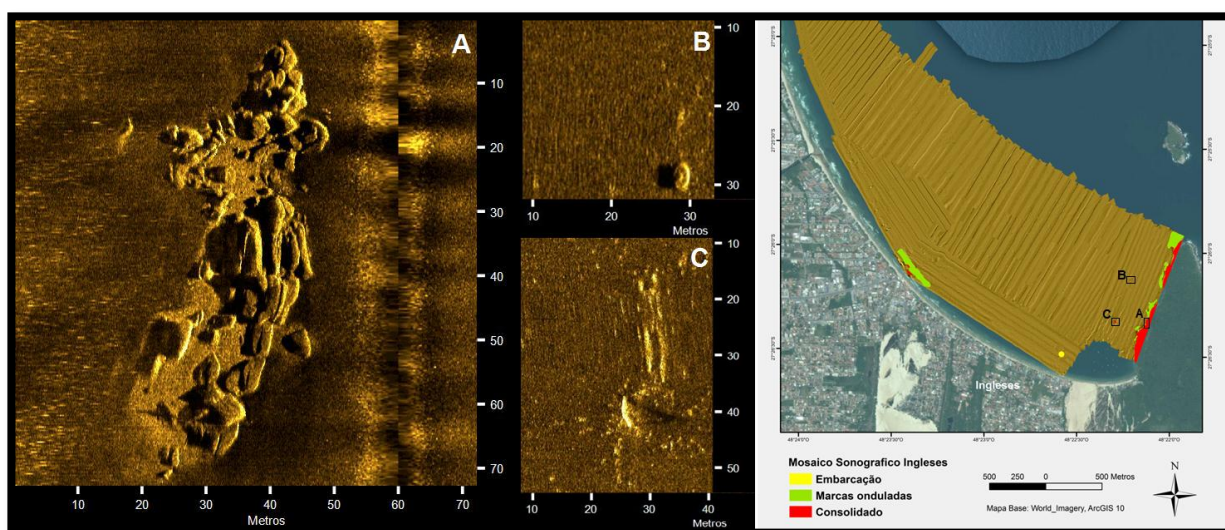
Foram identificados quatro padrões sonográficos distintos (Figura 24), que estão relacionados diretamente com a intensidade do retorno do sinal. Uma maior intensidade, com elevação do fundo marcada pela sombra adjacente, identificando rochas. Um padrão misto, intercalando padrões de intensidade diferentes, com marcas sinuosas representando as marcas onduladas. E a grande maioria do fundo com um padrão homogêneo e liso.



Figura 24 - Mosaico sonográfico dos Ingleses com a identificação das feições encontradas e de um naufrágio. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015.



As rochas foram identificadas no entorno dos promontórios (Figura 25A), apresentando uma alta intensidade do sinal. É possível verificar um ponto com rochas na porção mais central próximo a costa, referente a rochas que estão localizadas em frente a uma edificação. Além de muitos pontos de alta intensidade (Figura 25B e Figura 25C) e que poderiam estar relacionados a um material consolidado ou material de origem antropogênica tendo em vista a quantidade de embarcações fundeadas na região.



**Figura 25 - Imagens sonográficas localizadas nos Ingleses. Em A rochas, em B e C material consolidado ou de origem antropogênica.**

A intensidade do sinal de retroespalhamento sugere que não há uma modificação quanto a granulometria sedimentar, já que a intensidade do sinal foi bem homogênea durante todo levantamento. O que é explicado pelo padrão de distribuição de sedimentos pertencente a classe modal areia fina, variando o diâmetro do grão entre 0,20 mm a 0,30 mm (HORN FILHO 2003; FARACO, 2003; MARINO, 2006; PGGM, 2010, VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2016a).

Nesta região foi identificado um naufrágio (Figura 26), localizado 27°26'49" de latitude sul e 48°22'59" de longitude oeste, com aproximadamente 20 metros de comprimento, em profundidade 6 metros e com uma coluna d'água de até 2 metros sobre o ponto. Segundo sites turísticos e escolas de mergulho da região, este ponto de mergulho abriga um barco pesqueiro naufragado a 100 m da praia e com profundidade máxima de 7 m de coluna d'água (mergulho Brasil site). O único naufrágio documentado da região fica por conta do primeiro sítio arqueológico subaquático do Estado de Santa Catarina demarcado pela Marinha do Brasil,

situado entre as coordenadas 27°26'12" e 27°26'14" de latitude sul e 48°22'35" e 48°22'37" de longitude oeste, com uma área de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, onde se encontra soçobrada uma embarcação de madeira de origem europeia, provavelmente do final do século XVII (MARINO, 2006).

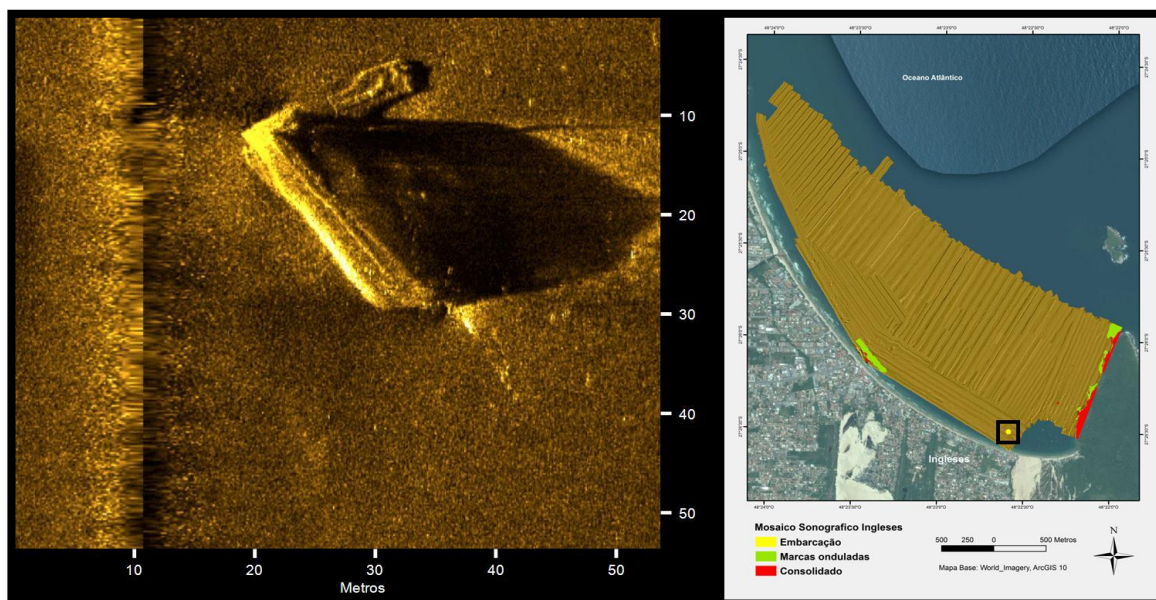


Figura 26 - Naufrágio identificado nos Ingleses.

Como formas de leito foram identificadas marcas onduladas (*ripples*) como as micro-ondulações e megaondulações. As micro-ondulações foram identificadas nas regiões de menores profundidades próximas à costa e junto às rochas próximas ao promontório. Já as megaondulação foram evidenciadas junto ao promontório, na maior profundidade, na região do estreitamento que existe com a Ilha Mata Fome.

Na porção sul a forma de leito identificada como megaondulação (Figura 27) é uma continuidade de forma de leito identificada por Porpilho (2015), contornando a Ponta dos Ingleses. Apresentou comprimento de onda de 8 metros em maior profundidade, diminuindo progressivamente seu comprimento conforme a diminuição da coluna d'água, chegando a 3 metros. Apresenta-se perpendicular ao promontório e paralelas em relação a costa, são assimétricas, catenárias, e como verificado pela batimetria (Figura 28), migrando de dentro da enseada para fora com alturas variando entre 0,5 m a 1 m. A formação desta forma de leito na região mais profunda necessitaria de fluxos entre 0,2 e 0,4 ms<sup>-1</sup> para sua formação, sendo corroborado por simulações efetuadas por Vieira da Silva *et al.* (2016) (Figura 29).



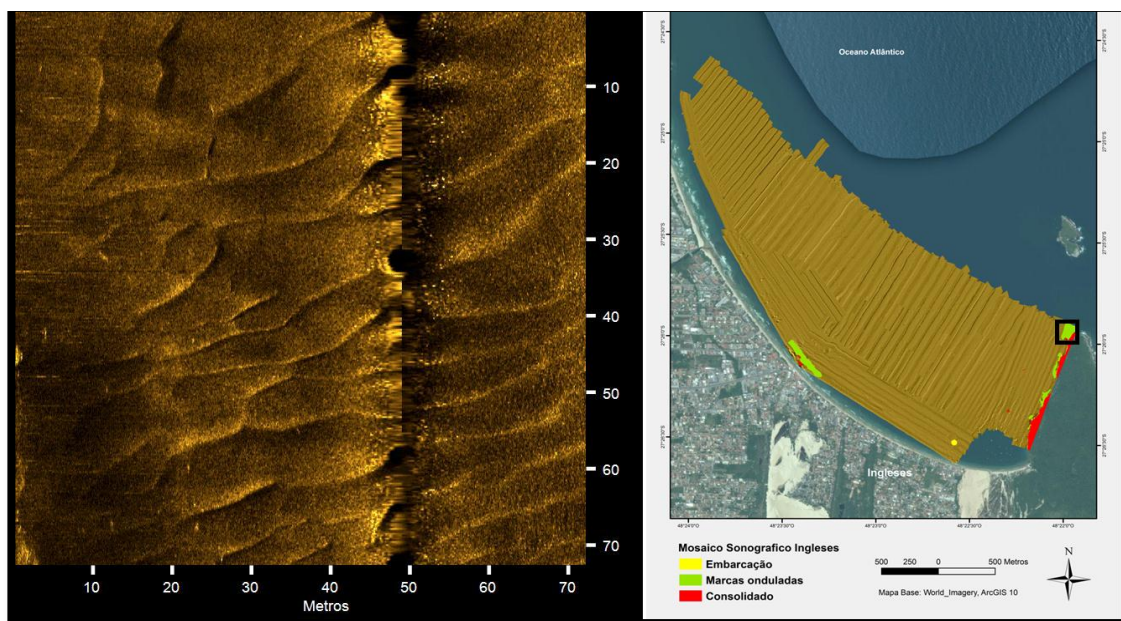


Figura 27 - Imagem sonográfica da megaondulação, assimétrica, catenária.

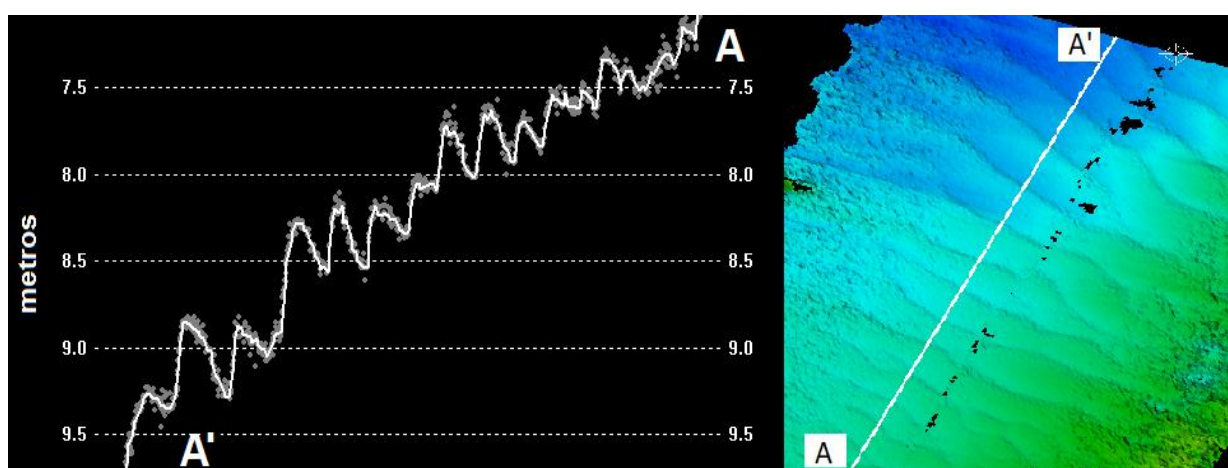


Figura 28 - Perfil extraído da batimetria de varredura identificando a altura e migração das megaondulações catenárias.

Porpilho (2015) formulou primeiramente que esta migração devia ser pelo mecanismo associado a difração da onda na ponta do promontório, que tenderia a gerar uma célula de circulação no sentido oposto ao da corrente predominante, mas chega a conclusão que esta feição não poderia ser gerada pela velocidade da corrente da área e a granulometria encontradas no local.

A explicação para esse comportamento segundo Vieira da Silva *et al.* (2016) é de que entre o promontório e a ilha a profundidade aumenta, reduzindo a capacidade da onda atingir o leito e transportar areia. Nos casos de ondas provindos de leste e sudeste, tanto o promontório quanto as ilhas geram uma região de

sombra, aonde a energia que chega à costa é atenuada de forma considerável (FARACO, 2003; DALINGHAUS, 2016), enquanto as correntes de norte são desviadas para leste (*offshore*) (Figura 29) devido à forma da costa e também são intensificadas conforme a massa de água é espremida entre o promontório e Ilha (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2016).

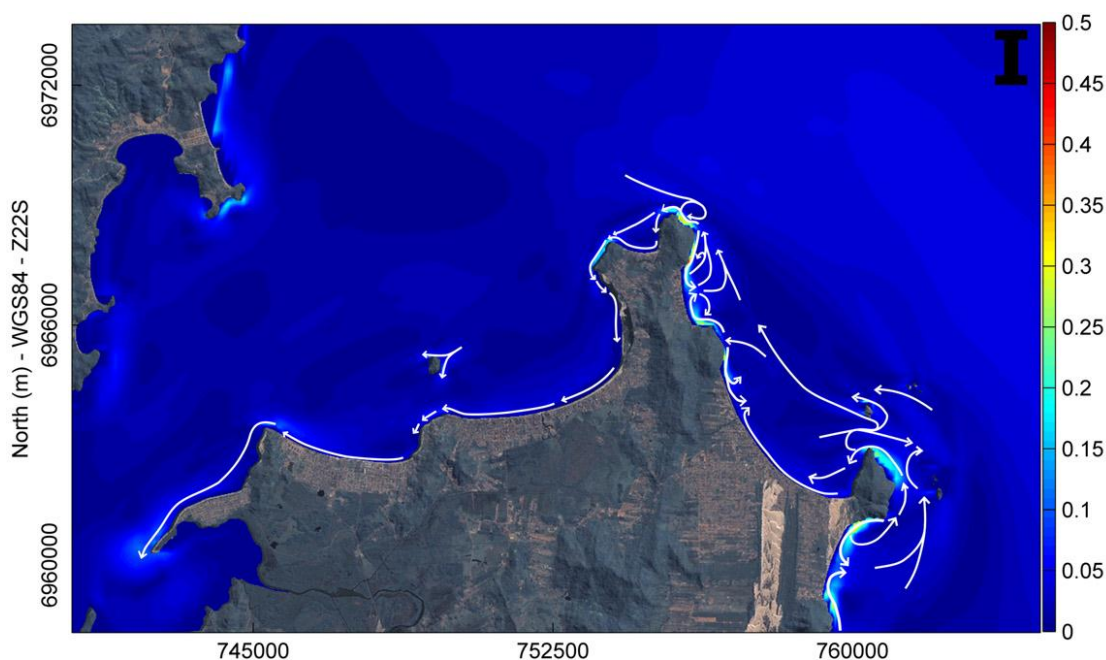


Figura 29 - Desenho esquemático do comportamento da corrente na região dos Ingleses indicando direção e velocidade em  $\text{ms}^{-1}$ , modificado de Vieira da Silva *et al.*, 2016.

Ainda junto ao promontório sul é possível verificar marcas onduladas de diferentes direções entre as rochas abrangendo uma área de  $0,009 \text{ Km}^2$ . No entanto a classificação e identificação de continuidade lateral são dificultadas, pois em muitos momentos o material em suspensão obstrui a visualização dessas formas de leito.

Na porção central, ocupando uma área de  $0,02 \text{ Km}^2$ , com extensão entre 35 m a 60 m, as marcas onduladas (Figura 30) apresentaram comprimentos de 0,9 m a 1,10 m de comprimento de onda, paralelas em relação a costa. Através da batimetria foi possível verificar que eram assimétricas, migrando em direção a costa, com altura de 5 a 15 cm, entre as profundidades de 2,4 m a 3 m. Este tipo de forma de leito é descrito na sequência de comportamento morfodinâmico em direção a costa (CLIFTON *et al.*, 1971; OSBORNE & VINCENT, 1993), que começam a apresentar modificações na forma a partir do momento que a coluna d'água diminui,

aumentando a velocidade do fluxo e a assimetria do movimento orbital da onda próximo ao leito.

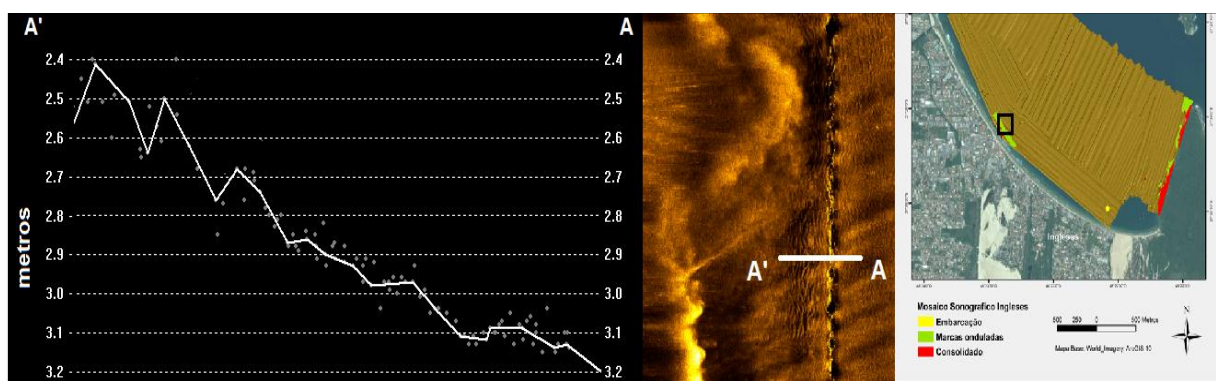


Figura 30 - Imagem sonográfica, à direita, das formas de leito da porção central. À esquerda perfil retirado da batimetria, para identificar a migração e altura das formas de leito.

Gerou-se um mapa com as cotas batimétricas (Figura 31), verificando que as isóbatas apresentam-se paralelas a linha de costa, com profundidades indo de 3,54 m a 15,69 m. A declividade (Figura 32) média de  $1,3^\circ$ , onde a maior declividade está na parte norte com (P1)  $2,5^\circ$  e (P2)  $1,5^\circ$  e o restante em torno de  $1,0^\circ$ . Configurando perfis convexos, mais extensos e suaves ao sul e ao norte perfis côncavos, de menor extensão e de maior declividade.

Essa configuração morfodinâmica resulta do transporte médio anual de sedimentos nos Ingleses, de forma geral, encontra-se variando em torno da média, porém essa média é negativa, indicando que há um contínuo transporte de sedimentos para norte - nordeste nesta praia, apesar de haver um menor transporte de sedimentos também para sul – sudeste (DALINGHAUS, 2016), este gradiente para norte – nordeste é resultado do aumento a exposição de ondas (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2016).



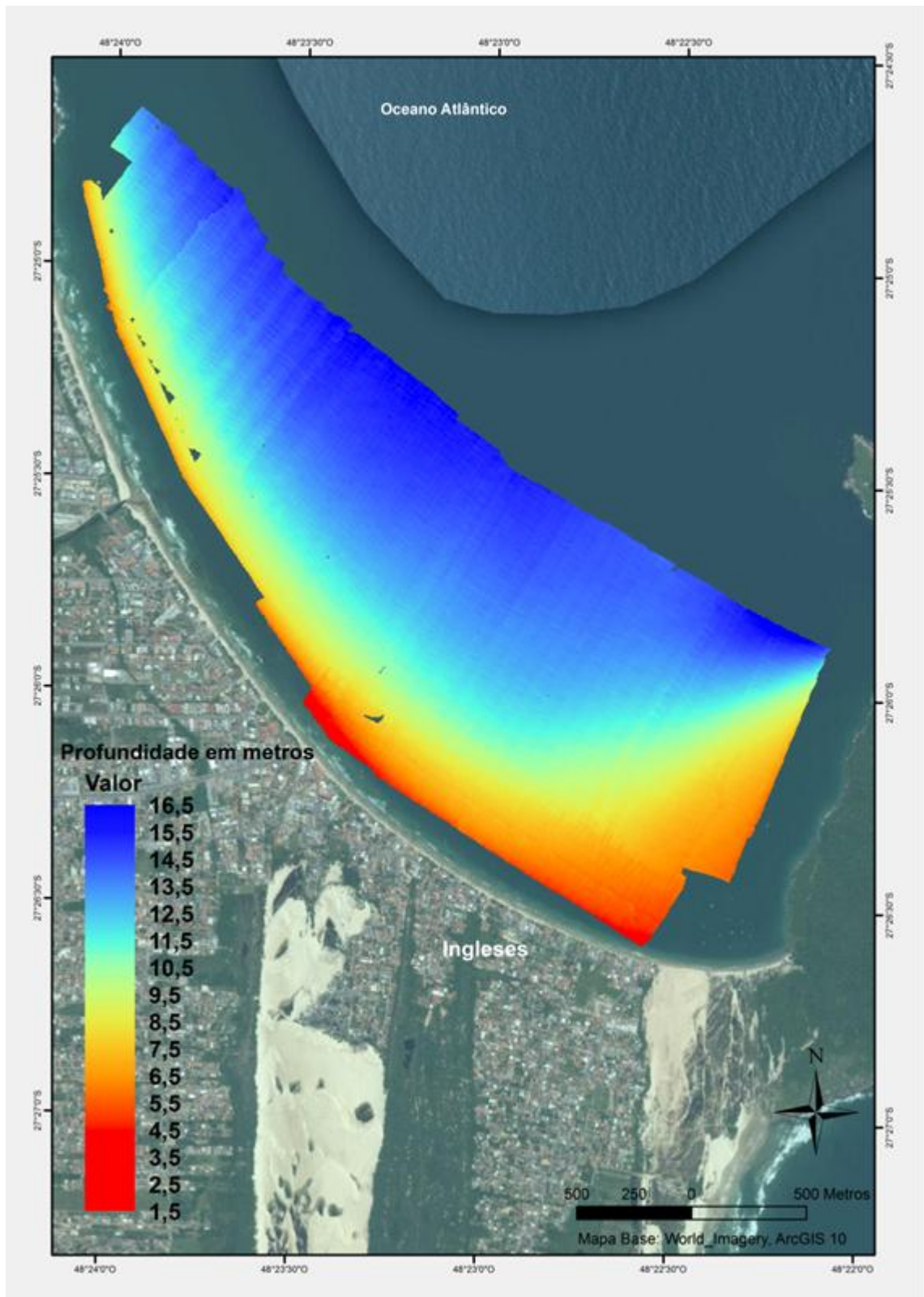
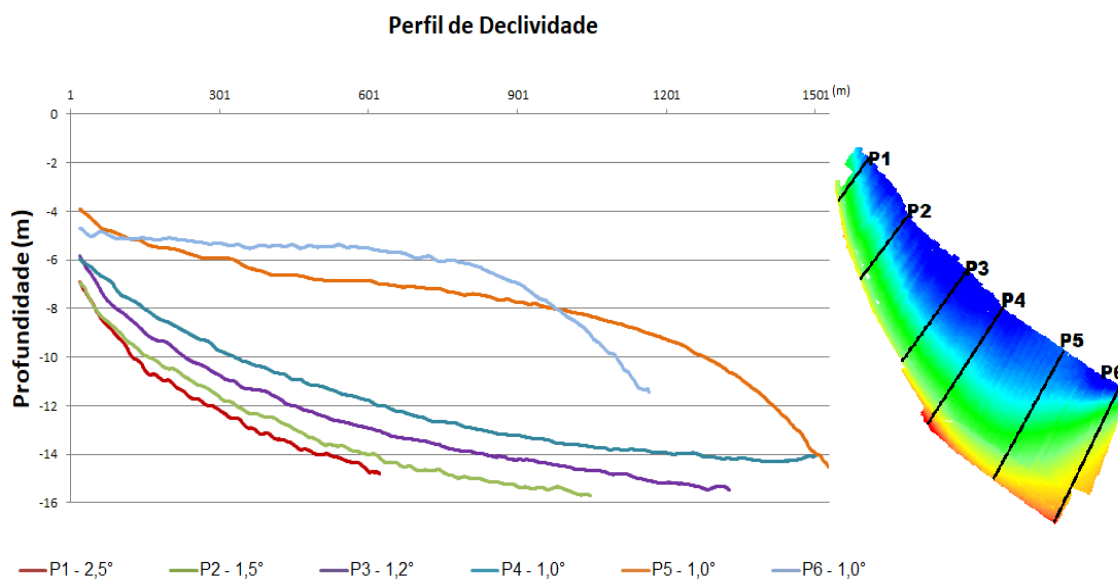


Figura 31 - Mapa batimétrico Ingleses. Imagem de satélite de fundo fonte: Google Earth 2015.



**Figura 32 - Declividade dos Ingleses.**

Porpilho (2015) descarta a possibilidade de transposição sedimentar (*bypassing*) pela Ponta dos Ingleses, já que identificou um acúmulo de sedimento neste promontório (*inner shelf sand body*). Vieira da Silva *et al.* (2016) afirma não observar *spit formation* no promontório entre a praia dos Ingleses e do Santinho, mas conceitualmente apresenta, que parte do sedimento transportado para o leste (Praia do Santinho) é desviado para a esquerda e transportado através da plataforma interna, eventualmente, chegando a praia dos Ingleses.

No entanto verifica-se que a praia possui um perfil mais convexo ao sul, sendo que a maior entrada de sedimento neste setor é oriunda do campo de dunas localizado entre o Santinho e os Ingleses, que segundo Boeyinga *et al.* (2010) fornece 10.000 m<sup>3</sup>/ano de sedimento. Pinto *et al.* (2015), verifica que a taxa de migração destas dunas estão diminuindo desde 1978, de 3.000 a 5.000 m<sup>3</sup>/ano de sedimento, devido ao aumento da urbanização e da vegetação, modificando possivelmente a dinâmica do sistema eólico, interferindo no aporte sedimentar para a praia dos Ingleses, fator evidenciado pela retração da linha de costa.

Por ser a maior área de levantamento e por ser feito em seis dias diferentes nos anos de 2013 e 2014, a junção dos diferentes dias gerou alguns desníveis na união das áreas. Ao buscar pela origem destes desníveis identificou-se que o motivo estava relacionado a erros do próprio levantamento, descritos em materiais e métodos.

## 4.2 Ponta das Feiticeiras

Na Ponta das Feiticeiras a cobertura (Figura 33) do levantamento apresentou sobreposição de 200% em quase toda a área, ficando somente a extremidade sem sobreposição e um intervalo entre as linhas mais profundas. Destaca-se também que o levantamento em torno do promontório foi feito de forma contínua, no momento que se efetua uma curva com o equipamento algumas feições estão sujeitas a distorções.



Figura 33 - Área de cobertura Ponta das Feiticeiras.

Através do mosaico sonográfico (Figura 34) foi possível identificar três padrões de intensidade do retroespalhamento. Um fundo homogêneo e liso representado por um padrão de sinal constante de intensidade. Além de marcas onduladas identificadas em três pontos distintos, na porção sul, centro e norte, as quais possuíam um padrão intercalado de baixa e alta intensidade, marcando a cava e a crista de cada marca ondulada, respectivamente. E rochas (Figura 35) identificadas por um forte sinal de retorno com sombra adjacente como resultado da sua elevação em relação ao substrato sedimentar marinho, localizadas na porção central e norte do promontório.



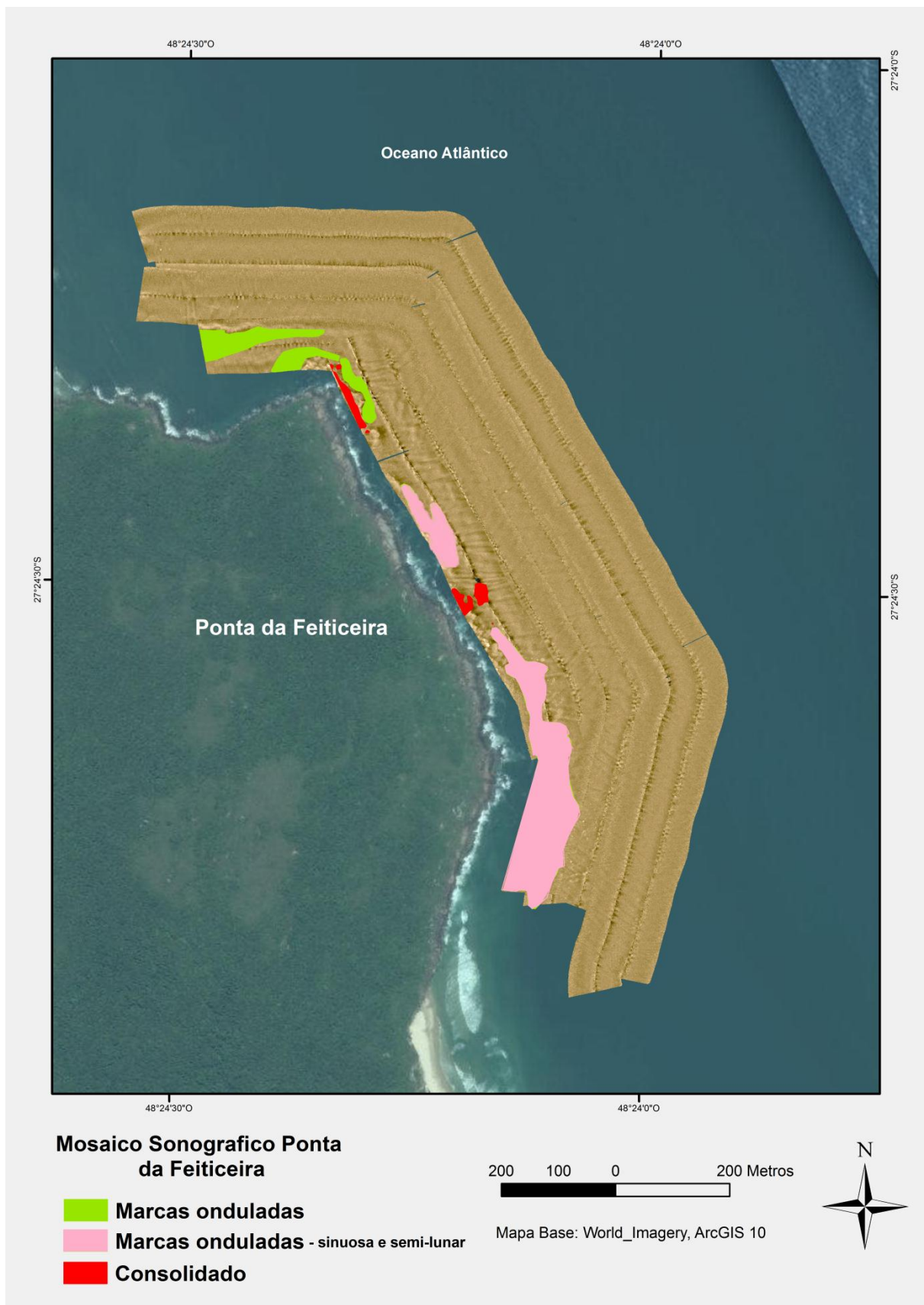


Figura 34 - Mosaico sonográfico da Ponta da Feiticeira com a identificação das feições encontradas.

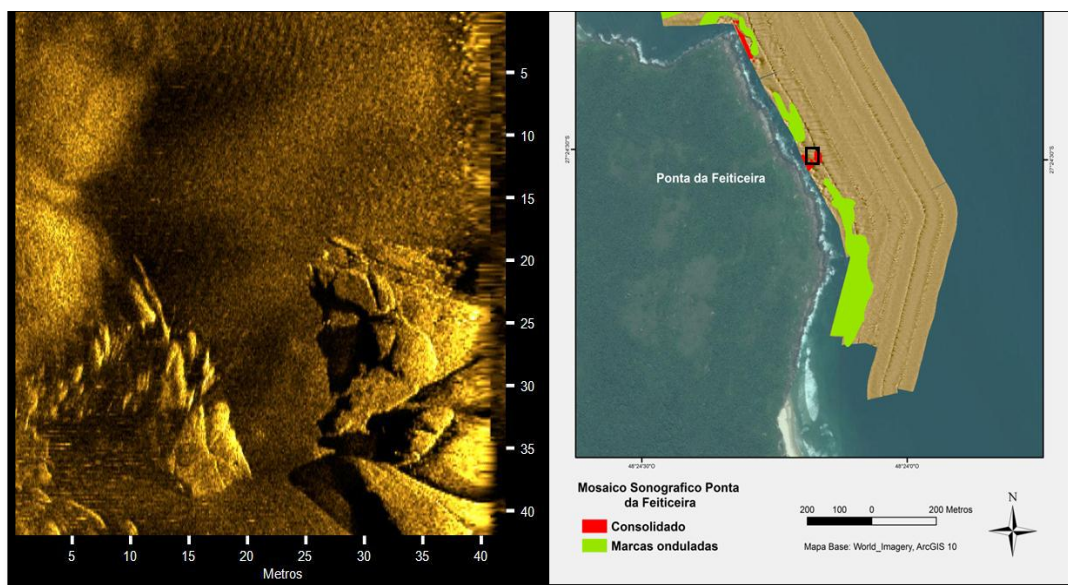


Figura 35 - Identificação de rochas na parte central da Ponta das Feiticeiras.

Ao norte é possível distinguir um padrão de marcas onduladas, em torno da profundidade de 5 metros, com baixa resolução para classificação quanto o tipo de forma e por ser uma das bordas da área de levantamento não possui uma sobreposição dos dados para sua conferência. Apresentou uma área aproximada de  $0,01 \text{ km}^2$  (Figura 36), onde houve a possibilidade de mensurar, as formas de leito apresentaram de 0,3 a 0,4 metros de comprimento, paralelas em relação ao promontório.

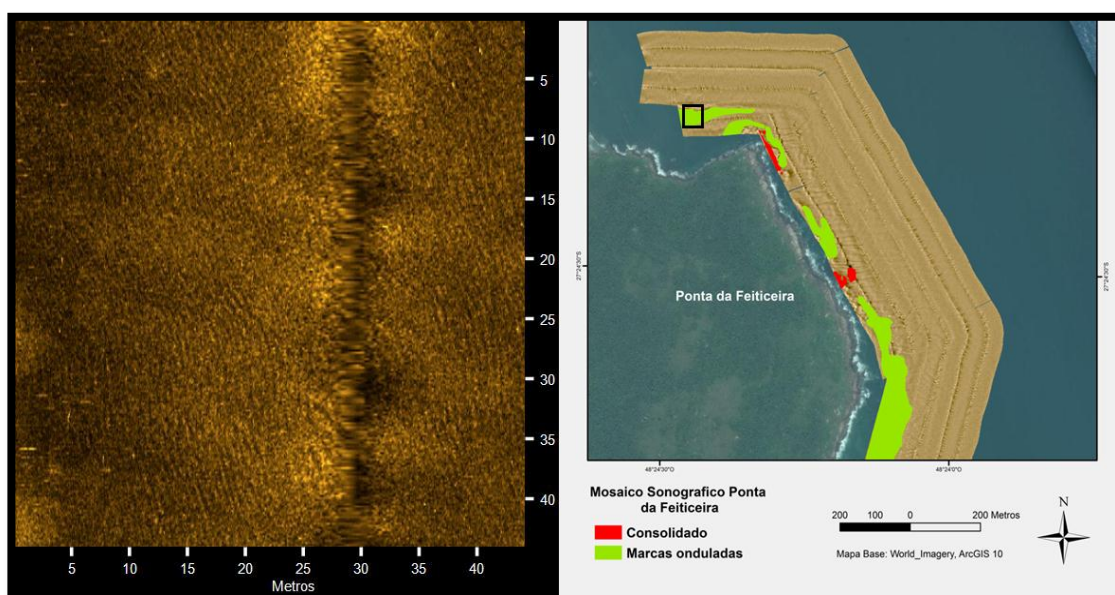


Figura 36 - Marcas onduladas encontradas na parte norte da Ponta das Feiticeiras.

Na porção central as formas de leito são paralelas à costa, assimétricas e sinuosas, ocupando uma área de  $0,005 \text{ km}^2$  (Figura 37). Apresentou comprimento de

0,8 m a 1 m na profundidade de 8 m e a medida que fica mais profundo pode-se verificar que diminuem, mas a resolução da imagem impossibilita a medição de comprimento. A verificação da altura também ficou comprometida tanto na sonografia quanto na batimetria de varredura, isso devido ao tamanho da feição e a resolução em relação ao empilhamento do sinal, mesmo diminuindo este empilhamento os pontos ficavam muitos dispersos para conseguir verificar algum perfil para que pudesse ser medido.

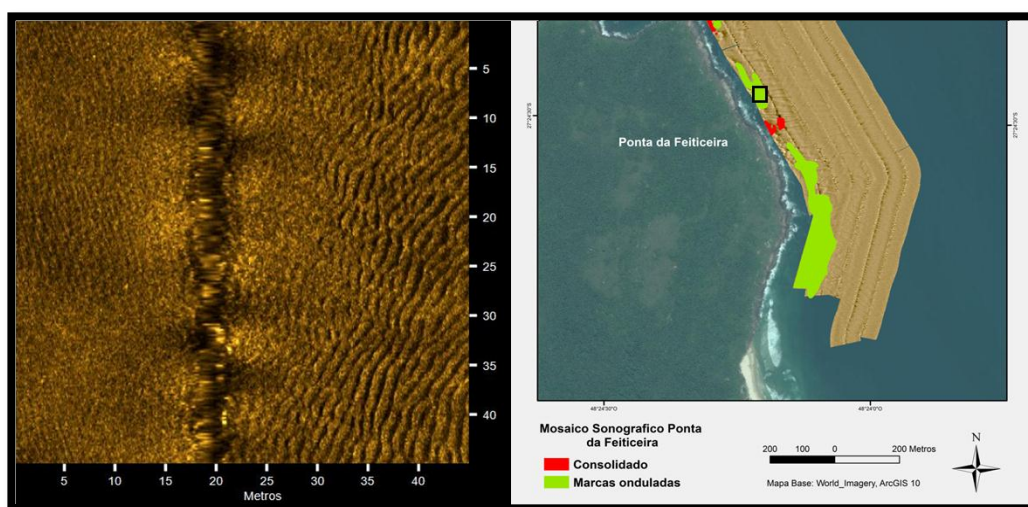


Figura 37 - Formas de leito sinuosas assimétricas medindo de 0,8 a 1 metro.

As formas de leito mais significativas da Ponta das Feiticeiras foram marcas onduladas, localizadas na porção sul abrangendo uma área total de  $0,03 \text{ km}^2$  (Figura 38), na profundidade aproximada de 3 m. Em maior profundidade são assimétricas, sinuosas possuindo comprimento de 0,3 metros e conforme diminui a profundidade seu comprimento aumenta progressivamente, chegando a 2,3 metros e modificando para formas semi-lunares com altura de 0,10 a 0,15 m onde houve a possibilidade de medir (Figura 39). Na parte mais profunda são paralelas a linha de costa, na parte mais rasa elas sofrem leve modificação de direção, migrando suavemente para noroeste, essa modificação na direção acontece pela configuração do promontório e sua profundidade. Resultado da refração, fenômeno que relaciona a mudança da direção da onda com a mudança da velocidade de onda, a qual viajando sobre profundidades de fundo irregulares gira em direção a regiões de águas rasas, propagando-se obliquamente sobre batimetria (DEAN & DALRYMPLE, 2002).



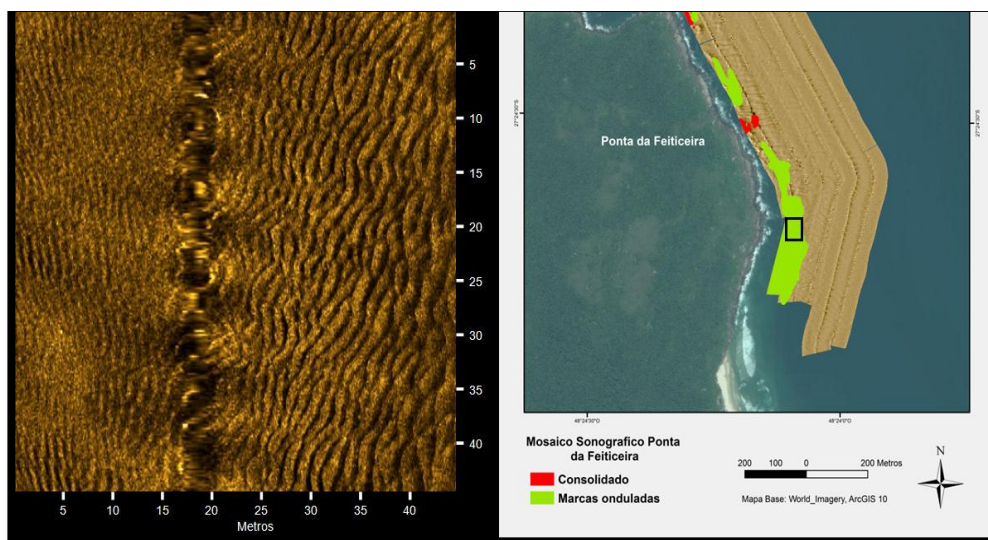


Figura 38 - Identificação da sequência dos tipos de forma de leito.

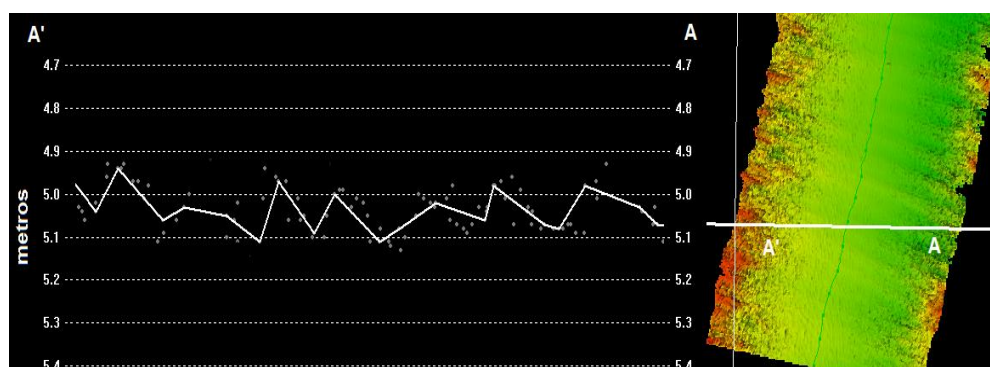
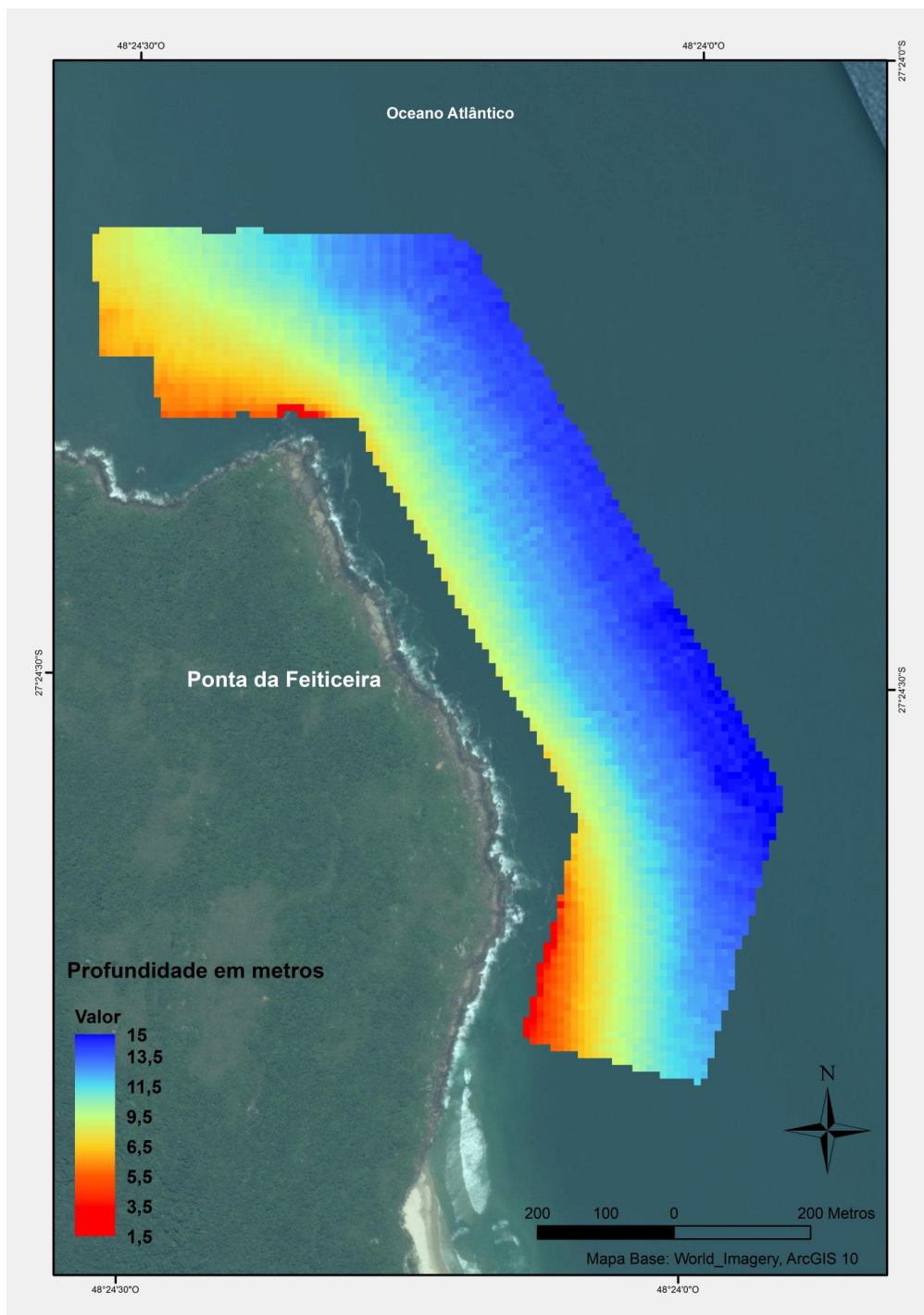


Figura 39 - Identificação da altura e migração das marcas onduladas por meio do perfil batimétrico.

Esta sequência de formas de leito na ponta das Feiticeiras segue o modelo descrito por Clifton *et al.* (1971) e modificada por Short (1999), conforme diminui a profundidade, a interação da onda com o fundo vai sendo modificada devido o movimento orbital da onda indo da profundidade de fechamento até a zona de espreadimento, sendo relacionada ao regime de fluxo.

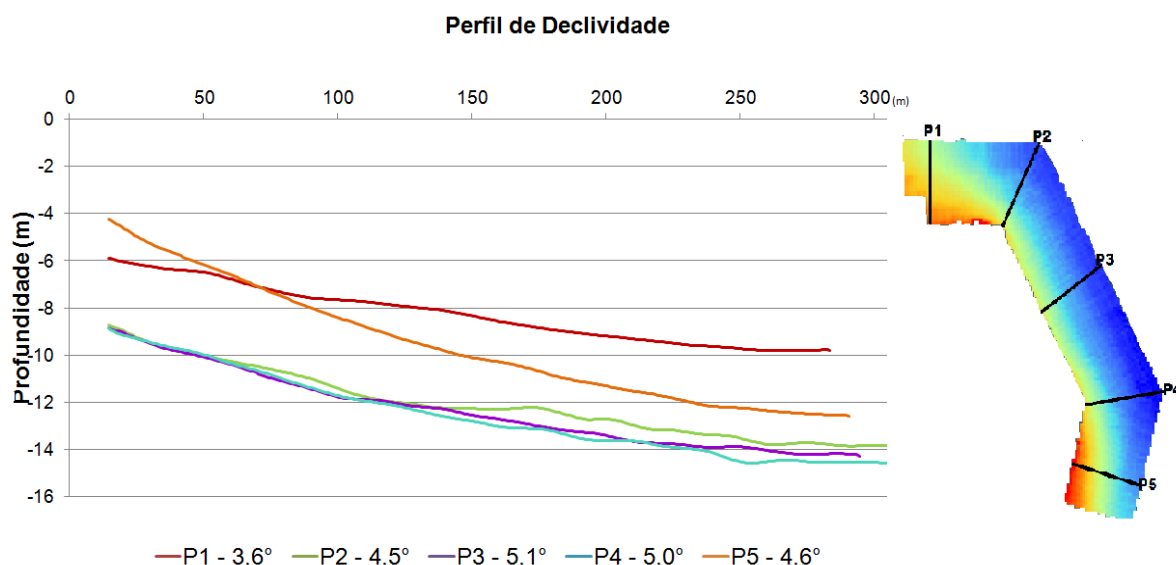
O mapa com as cotas batimétricas (Figura 40) apresentaram profundidades de 3,86 a 14,60 metros, onde as menores profundidades foram identificadas nas partes mais abrigadas ao sul e norte.



**Figura 40 - Mapa batimétrico da Ponta das Feiticeiras.**

A declividade média circundando o promontório é de  $4,56^\circ$  (Figura 41), no perfil norte (P1)  $3,6^\circ$ , no perfil sul (P5)  $4,6^\circ$  e os perfis centrais (P2, P3 e P4)  $4,5^\circ$ ,  $5,0^\circ$  e  $5,1^\circ$  respectivamente, sendo o de maior declividade dos pertencentes a área de estudo deste trabalho. Como as ondas mais energéticas que chegam a ilha são as de sul (MIOT DA SILVA *et al.*, 2012; ARAUJO *et al.*, 2003), a configuração da declividade deste promontório resulta por possuir sua face voltada em direção

sudeste, estando exposto e recebendo sem nenhum obstáculo as ondas de maior energia.

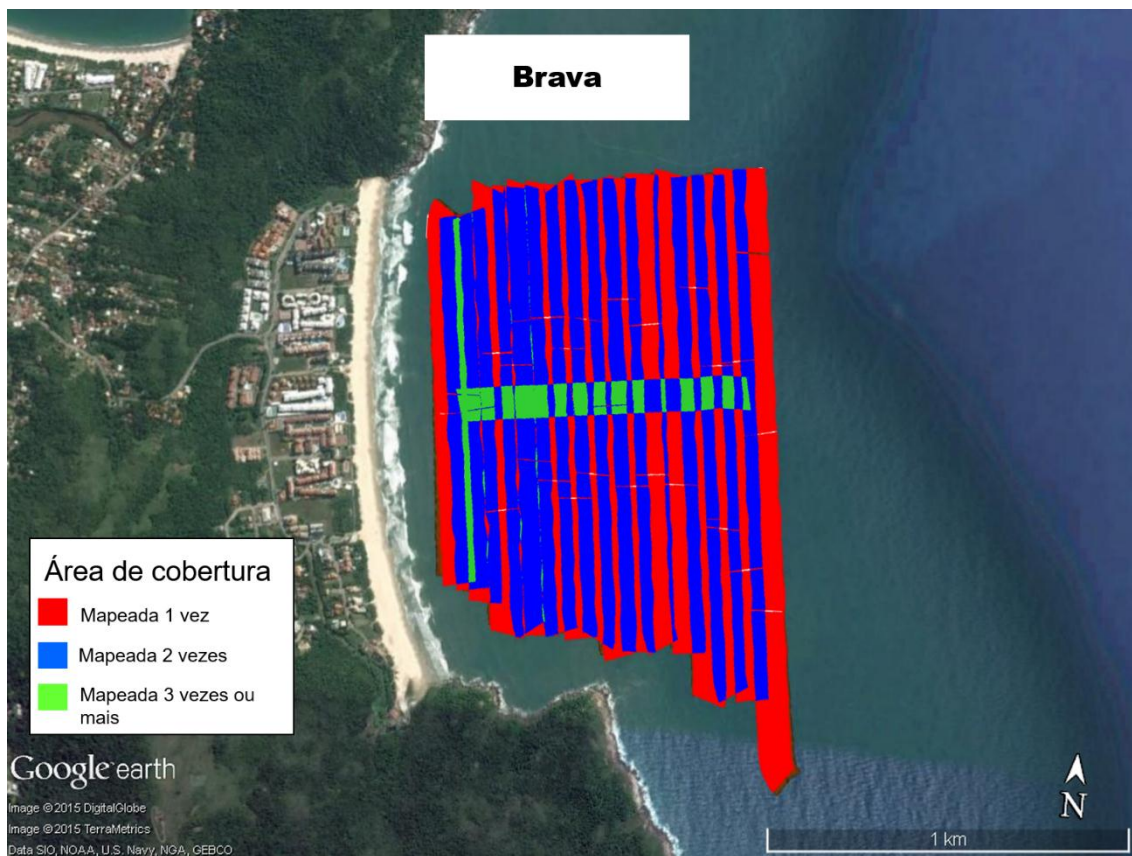


**Figura 41 - Perfil de declividade da Ponta das Feiticeiras.**

Vieira da Silva *et al.* (2016) explica que devido esta orientação meridional existe uma divergência na direção do transporte de sedimento que chega de frente para a Ponta das Feiticeiras, sendo parte direcionada para os Ingleses e parte para a Brava. E como os primeiros metros do promontório encontram-se em profundidades mais rasas que cinco metros a areia pode ser transportada, por transposição sedimentar (*bypassing*), pelas ondas ao redor deste promontório (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2016).

### 4.3 Praia Brava

A cobertura sonográfica (Figura 42) não teve uma sobreposição completa da área, o que para a sonografia não foi prejudicial, no entanto para a batimetria de varredura era importante. Pois como parte do processamento deste dado é feita uma limpeza dos dados retirando as extremidades da linha com a finalidade de excluir os erros relacionados aos dados espúrios.



**Figura 42 - Cobertura do levantamento da Brava.**

Das diferentes intensidades do sinal acústico destaca-se (Figura 43) um padrão que vai intercalando um sinal mais intenso com um sinal de menor intensidade, representando crista e cava, respectivamente, de marcas onduladas. O restante da área apresentou um padrão homogêneo, sugerindo um fundo sem mudanças granulométricas significativas e sem formas de leito, o que pode ser resultados da homogeneidade de um fundo liso ou resolução insuficiente do equipamento.





Figura 43 - Mosaico sonográfico da Brava com a identificação das feições encontradas.



As marcas onduladas compreendem uma área total de 0,056 km<sup>2</sup> e foram identificadas com continuidade lateral para toda a área mais próxima a praia a partir da profundidade de 5 metros, tendo comprimentos maiores na parte mais rasa e próxima aos promontórios, e menores na parte mais profunda. Orientadas paralelamente a costa e assimétricas. Tanto na parte mais ao sul quanto na parte mais ao norte foi possível identificar uma sequência destas formas de leito, conforme descrita por Clifton (1971), e já identificada na parte sul do promontório da Ponta das Feiticeiras. Esse conceito de sequência de formas de leito é importante de forma qualitativa, pois pode ser associada a força do fluxo necessária para gerá-las.

Na porção norte a sequência de desenvolvimento de formas de leito inicia-se com marcas onduladas que vão de 0,3 a 2,9 metros (Figura 44), passando de formas sinuosas a formas semi-lunares, entre as profundidades de 5,10 até 4,5 metros. A batimetria de varredura (Figura 45) possibilitou verificar a simetria e altura das formas de leito, que foram 0,05 a 20 cm de altura e mostra que estas feições estão migrando em direção a costa, resultante do movimento orbital da onda que ao chegar em menores profundidades aumenta sua interação com o fundo e começa a deslocar o sedimento. Mais ao sul elas apresentaram comprimento em torno de 1,6 metros sendo perceptível a mudança de comprimento, mas que não possibilitou a mensuração já que existiam muitos ruídos na área.

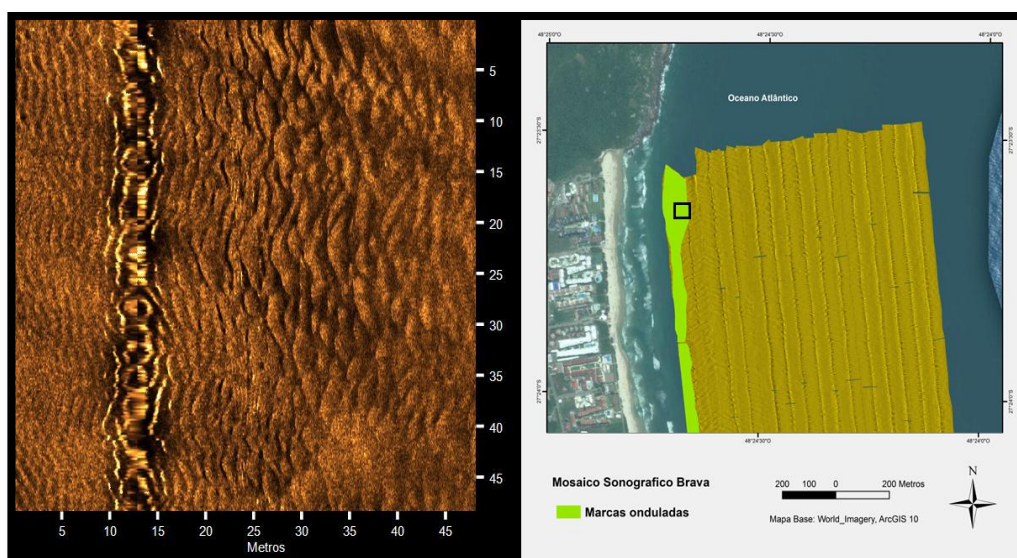


Figura 44 - Sequencia das formas de leito identificada.

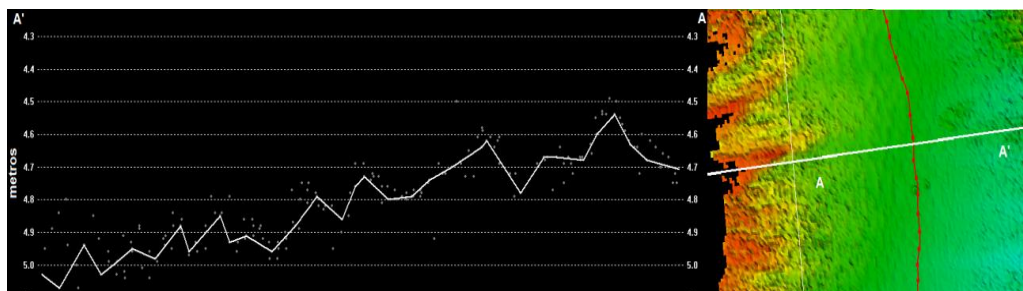


Figura 45 - Identificação da altura e migração das marcas onduladas localizadas na Brava.

Na parte central as formas de leito são identificadas em um espaço mais estreito, sendo sinuosas (Figura 46) e com comprimento entre 1 m a 1,2 m. Verifica-se o desenvolvimento de formas semi-lunares, subsequente as sinuosas, no entanto não é possível acompanhar sua continuidade no sonograma, pois seu limite de aquisição é este.

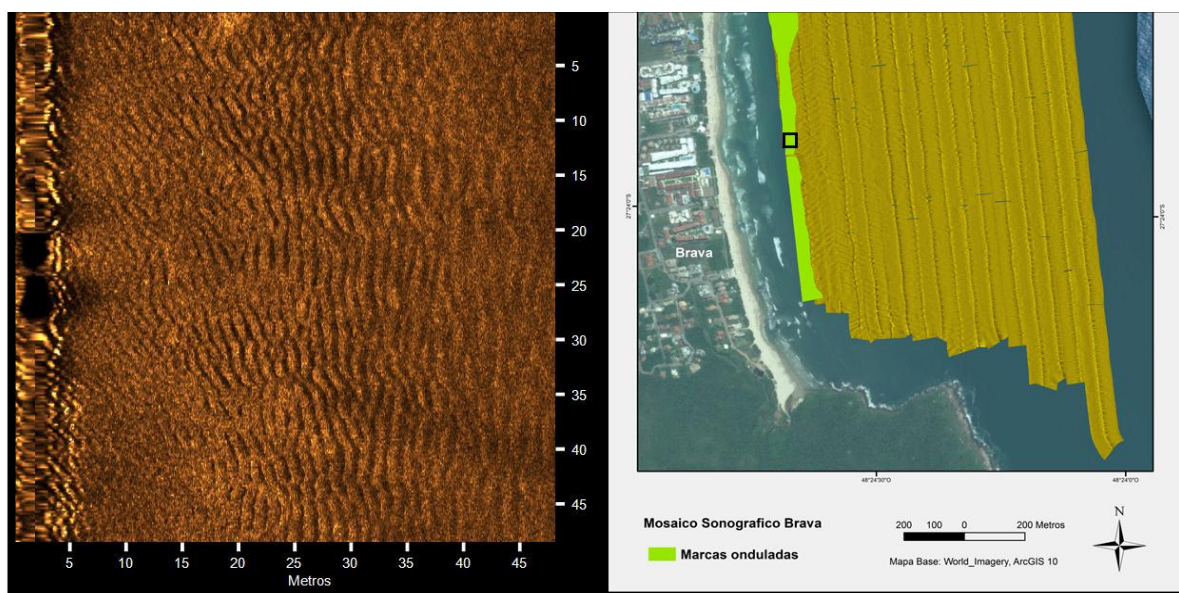


Figura 46 - Formas de leito do tipo sinuosas identificadas na parte central.

O mapa com as cotas batimétricas (Figura 47) apresentaram isóbatas paralelas à linha de costa e com profundidades de 4 a 14,32 metros. Através de perfis perpendiculares à costa foi calculada a declividade da plataforma interna (Figura 48), no perfil norte e central (P1 e P2)  $1,5^\circ$  e no perfil sul (P3)  $1,6^\circ$  uma diferença sutil e que reflete a orientação norte-nordeste da linha de costa. Pois o norte está exposto a uma maior energia recebendo ondas de leste e sul, enquanto as ondas de sul não alcançam a área mais protegida do promontório ao sul (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2016).

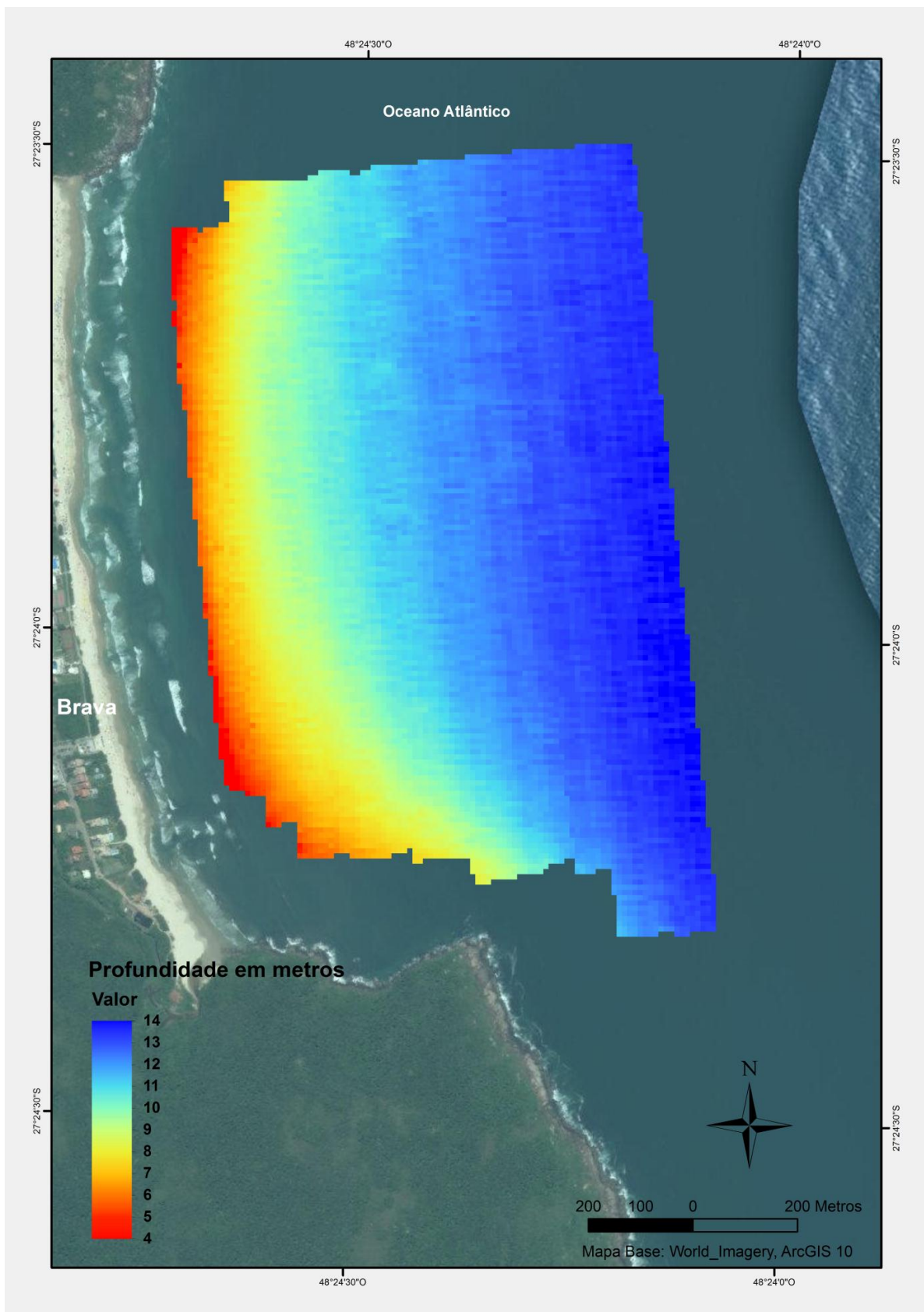


Figura 47 - Mapa batimétrico da Brava.



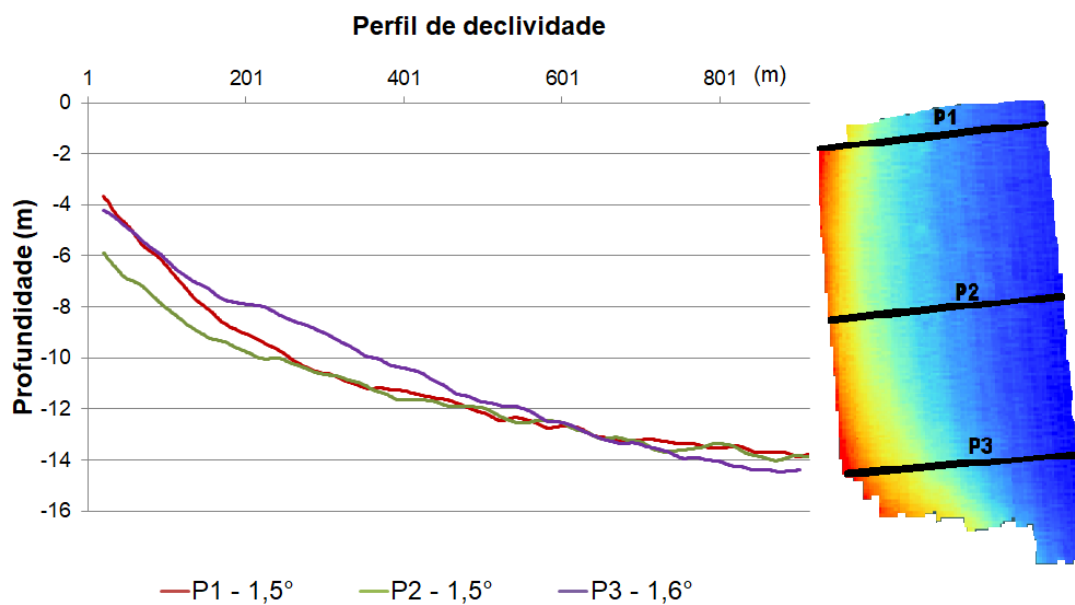
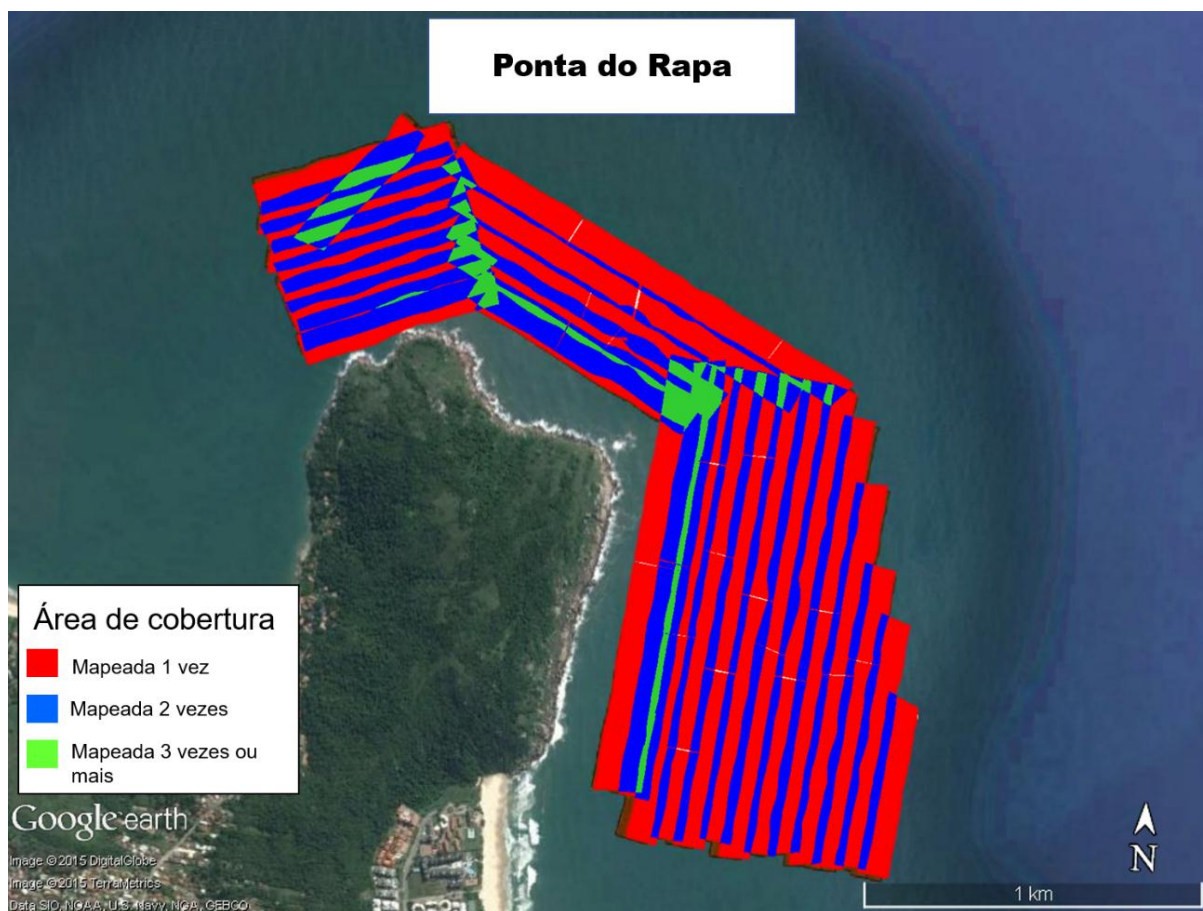


Figura 48 - Declividade Brava.

#### 4.4 Ponta do Rapa

A cobertura do levantamento (Figura 49) possui partes externas sem sobreposição, mas que não foi de grande relevância para a sonografia já que as formas de leitos identificadas ficaram bem representadas, no entanto a batimetria de varredura ficou comprometida, pois não foi possível mensurar as marcas onduladas na porção mais ao sul do promontório.



**Figura 49 - Área de cobertura do levantamento da Ponta do Rapa.**

Através das imagens de SVL foi possível identificar quatro padrões sonográficos (Figura 50): uma maior intensidade com sombras adjacentes, referente a rochas e a sombra gerada pela sua elevação em relação ao leito do mar; padrões com intervalos repetidos de alta e baixa intensidade com formas e tamanho diferentes referentes às marcas onduladas; um padrão semelhante ao anterior, de alta e baixa intensidade identificando marcas onduladas, mas com intervalos menores e com uma intensidade maior, alongada longitudinalmente marcando uma mudança na granulometria e o restante da área com um sinal homogêneo de mesma intensidade relacionado com um fundo liso e de mesma granulometria.

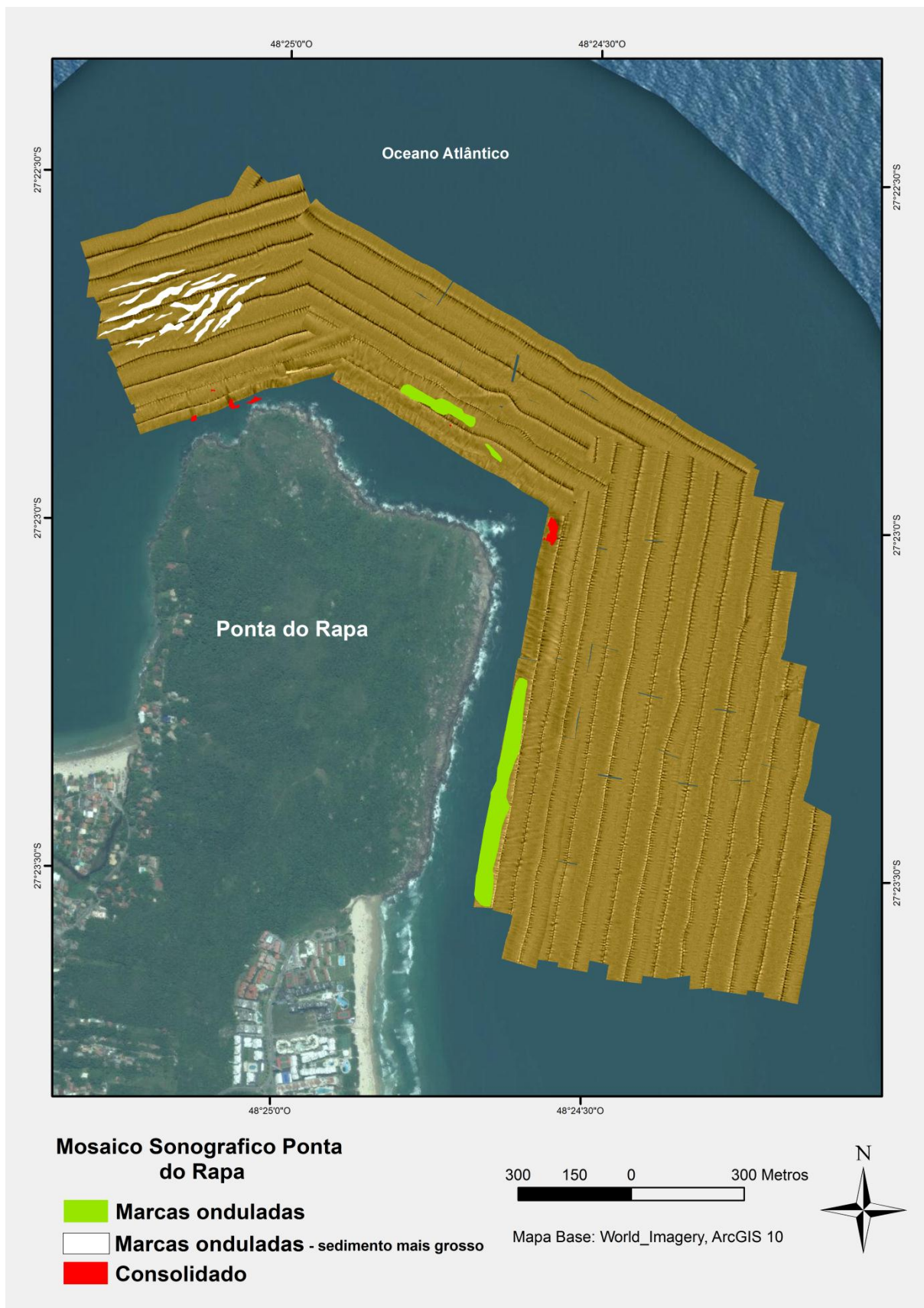


Figura 50 - Mosaico sonográfico Ponta do Rapa.

Na região mais central ao promontório é possível visualizar marcas onduladas (Figura 51) próximas às rochas, no entanto existe muito ruído, o que obstrui a visualização da continuidade lateral dessas formas de leito.

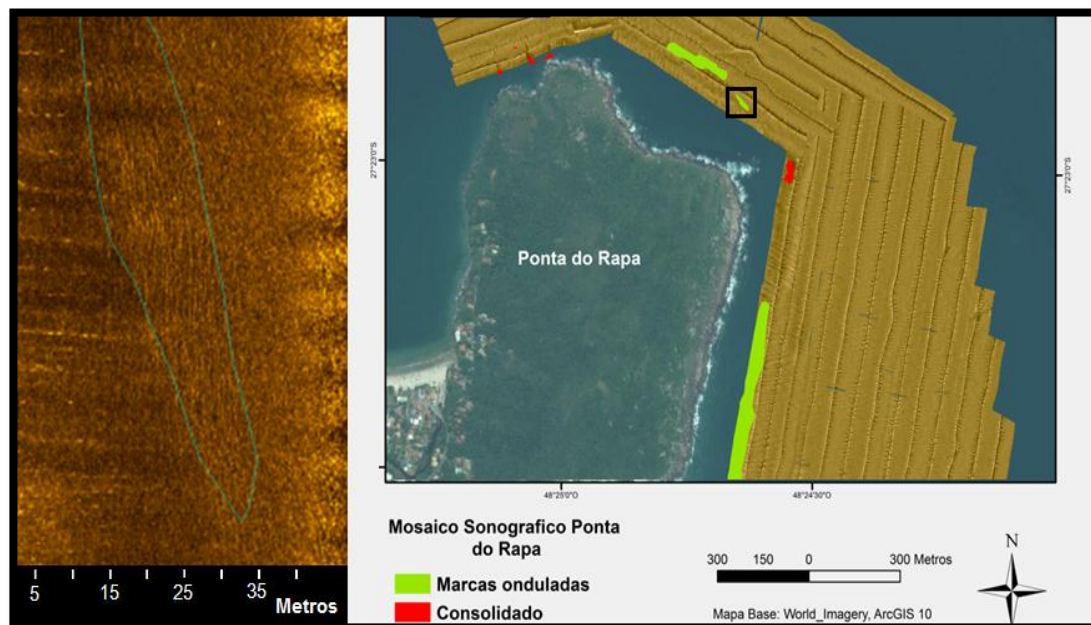


Figura 51 - Marcas onduladas visualizadas na região central do promontório.

Na porção sul do promontório são visualizadas marcas onduladas (Figura 52) paralelas a linha de costa, com comprimento entre crista e cava que vão de 0,5 a 0,7 metro ocupando uma área de 0,0247 de km<sup>2</sup>. No entanto, a identificação do tipo e da simetria ficam prejudicadas, pois na sonografia apresenta uma baixa resolução e na batimetria de varredura mesmo mudando o empilhamento do sinal para 1 não é possível verificar as mudanças de altura entre crista e cava, sugerindo que seu tamanho seja inferior a resolução do equipamento. Levando-se em consideração as formas de leito já encontradas nas outras áreas, fruto do tipo de sedimento e da altura e direção de onda incidente, associada a profundidade de 7 metros e respeitando a sequência de formas de leito descrita por Clifton (1971) poderia inferir que ou são marcas onduladas simétricas marcando o início do empolamento da onda ou são marcas onduladas sinuosas assimétricas já dando início ao transporte do sedimento em direção a costa pelo movimento orbital da onda.



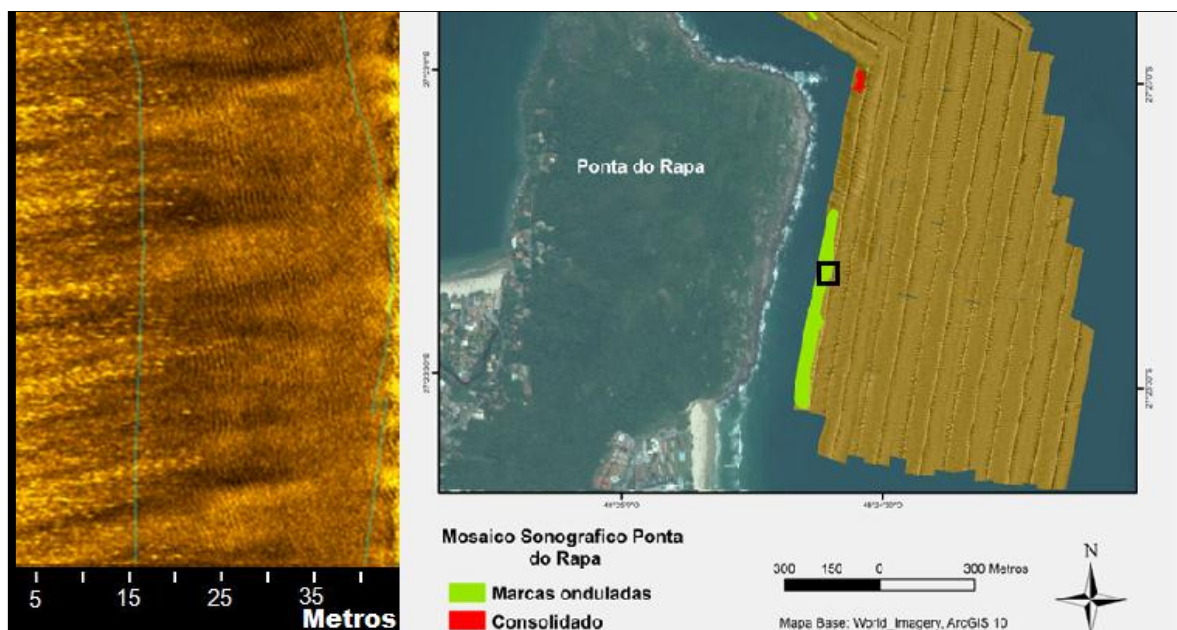


Figura 52 - Marcas onduladas visualizadas na parte mais ao sul do promontório.

Ao norte do promontório e com continuidade até a Lagoinha foi identificado formas de leito distintas (Figura 53), dispostas de forma paralela a orientação do promontório, possuindo comprimento entre 30 e 80 metros e largura de até 15 metros. Apresentando um sinal característico de um sedimento mais grosso, em relação ao substrato adjacente, e apresentando marcas onduladas no seu interior. A princípio cogitou-se a possibilidade de classificar como *Ripple Scour Depressions* ou *Sorted Bedforms*, forma de leito já identificada em outros pontos no entorno da Ilha de Santa Catarina por Souza & Correa (2006), Porpilho (2015) e Arendartchuk (2018). No entanto por apresentar uma geometria distinta das já citadas e por não ser possível identificar sua total localização dentro de uma depressão, optou-se por descrever somente como uma mudança granulométrica.



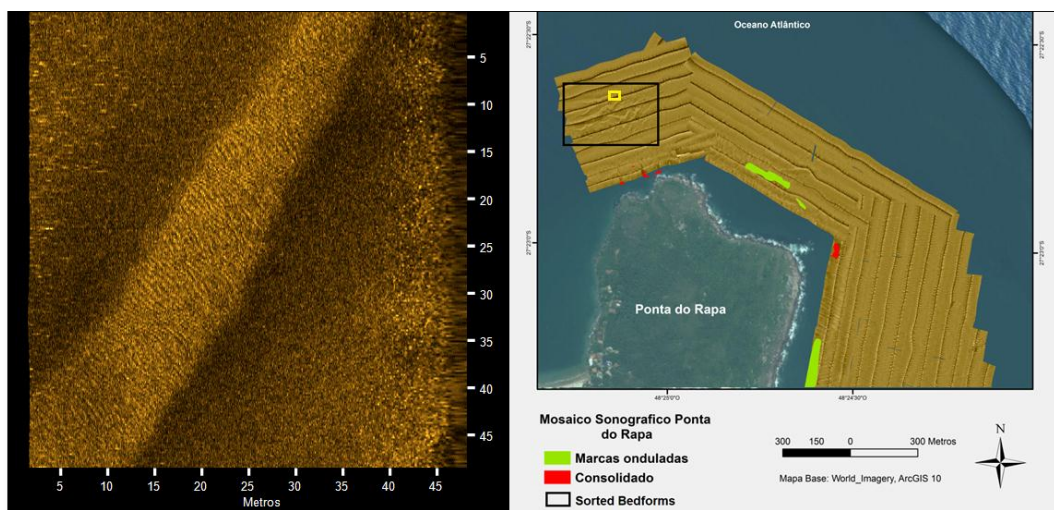


Figura 53 - Identificação de mudança granulométrica e marcas onduladas.

Ao longo de trabalhos efetuados na Ilha de Santa Catarina já foram identificados outros dois locais com esta forma de leito. Souza e Correa (2006) localizaram na porção mais à Sudoeste da enseada do Pântano do Sul, no canal entre a Ponta das Pacas e a ilha Irmã Pequena, com as amostras de subsuperfícies foram encontrados fragmentos de conchas nas áreas de presença das *Sorted Bedforms*. Porpilho (2015) identificou na plataforma continental interna e antepraia do complexo praiar Barra da Lagoa - Moçambique com ordem de 5 – 450 metros de largura e 10 – 900 metros de comprimento, orientadas perpendicular à linha de costa.

Goldstein (2011) diz que essa feições tem um robusto *feedback* de selecionamento, desde que o leito marinho possua uma quantidade suficiente de sedimentos mais grossos. E que na ausência de eventos extremos os processos padrões de maturação seriam os efeitos dinâmicos e os padrões de migração causando a escavação do material fino e deixando amostra o material de maior granulometria. E essa mesma turbulência não deixaria que o sedimento mais fino fosse depositado novamente.

O mapa de cotas batimétricas (Figura 54) apresentam profundidades que vão de 5 a 18 metros, sendo o ponto de maior profundidade encontrada em todo o levantamento. Através de perfis perpendiculares ao promontório foi calculada a declividade adjacente (Figura 55), apresentando ao sul perfis de declividade semelhante a Brava (P6 e P7) em média de 1,75°, nos perfis mais ao norte (P1 e P2) uma média de 3° e nos perfis na região central e mais exposta teve declividade

de 4°. Sendo possível verificar que toda a parte do promontório mais exposta foi onde apresentou maior profundidade, sendo que ela vai se tornando mais rasa a medida que o levantamento adentra a parte da Lagoinha, ou seja, a partir do momento em que adentra na área protegida a energia que chega é menor.

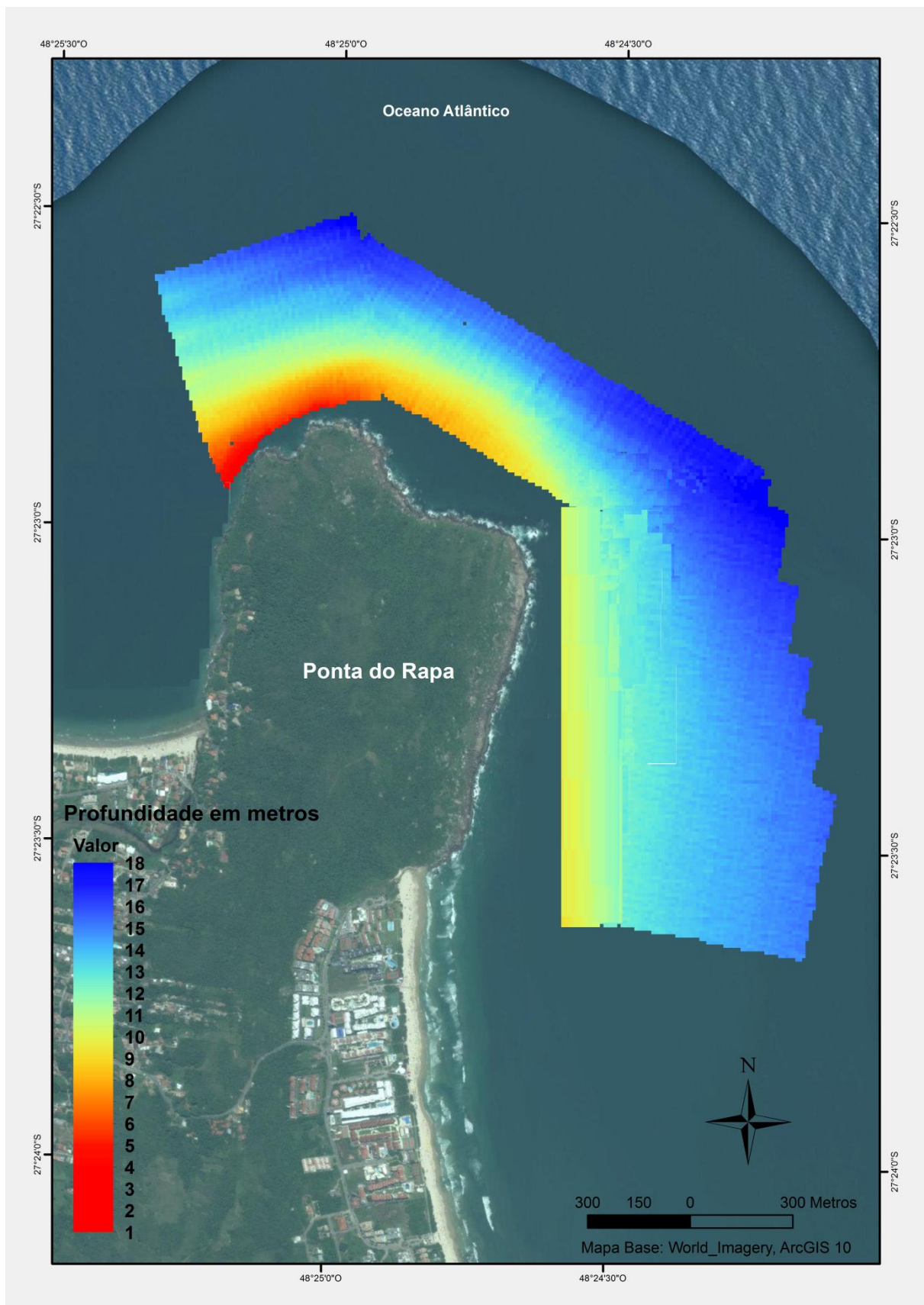


Figura 54 - Mapa batimétrico da Ponta do Rapa.

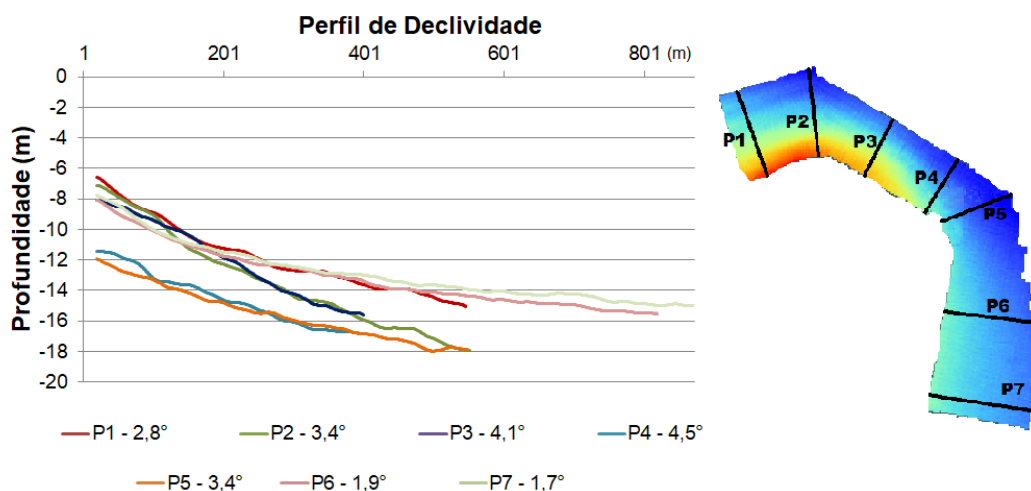


Figura 55 - Perfil de declividade da Ponta do Rapa.

#### 4.5 Praia da Lagoinha

O mapa de cobertura (Figura 56) do levantamento sonográfico apresentou sobreposição na maioria das linhas, ficando somente uma porção mais profunda e próxima ao costão sem sobreposição nas extremidades das imagens.

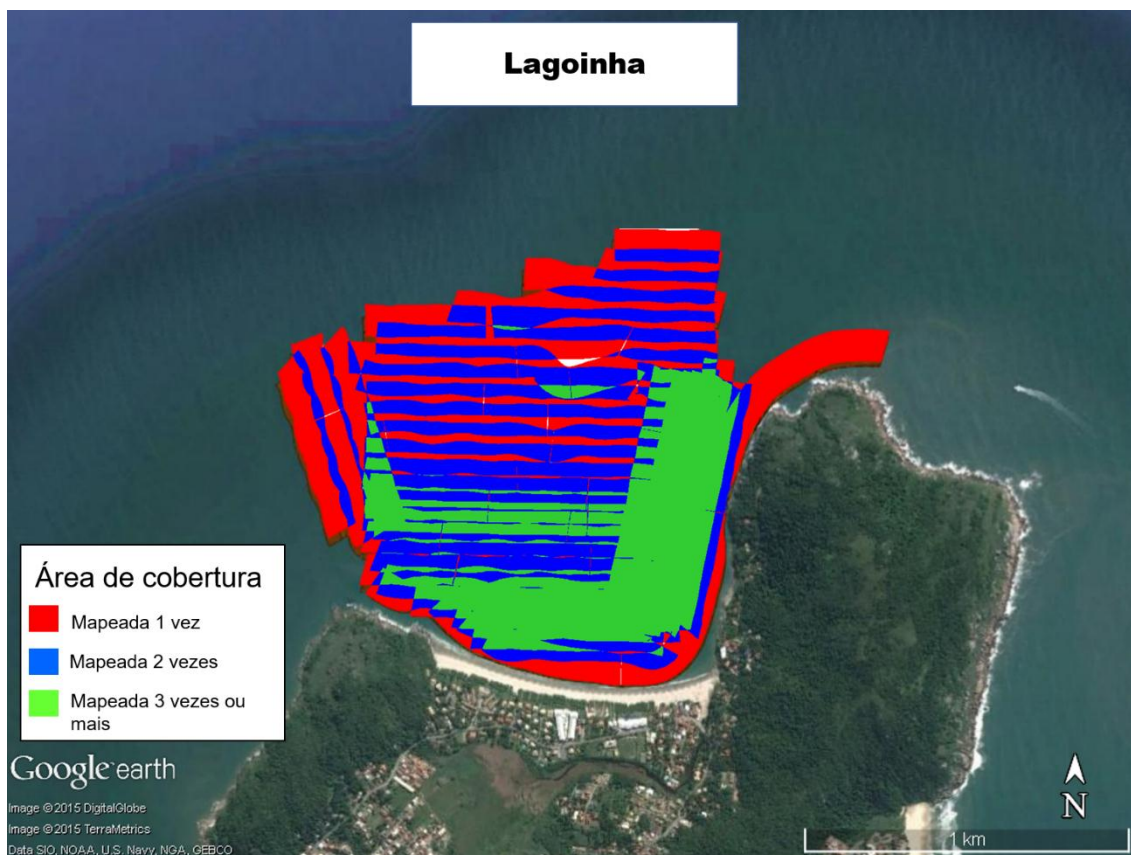


Figura 56 - Mapa de cobertura de levantamento da Lagoinha.

Para esta área identificou-se quatro padrões sonográficos (Figura 57) que foram relacionados à presença de rocha, de marcas onduladas, mudança de granulometria e fundo homogêneo. As rochas apresentaram um sinal acústico com alta intensidade de retorno, de formas levemente arredondadas e com elevação em relação ao substrato adjacente. Um padrão intercalando um sinal de maior intensidade com um de menor intensidade identificando crista e cava respectivamente, de marcas onduladas.

Destaca-se um sinal acústico de maior retorno de intensidade, com formato alongado, dispostos paralelos entre si, com um padrão similar a marcas onduladas no seu interior e que faz parte da continuidade da forma de leito com mudança granulométrica encontrada na Ponta do Rapa. A maior cobertura da imagem do mosaico apresentou um padrão homogêneo, não tão intenso, relacionado ao fundo plano e com substrato homogêneo.

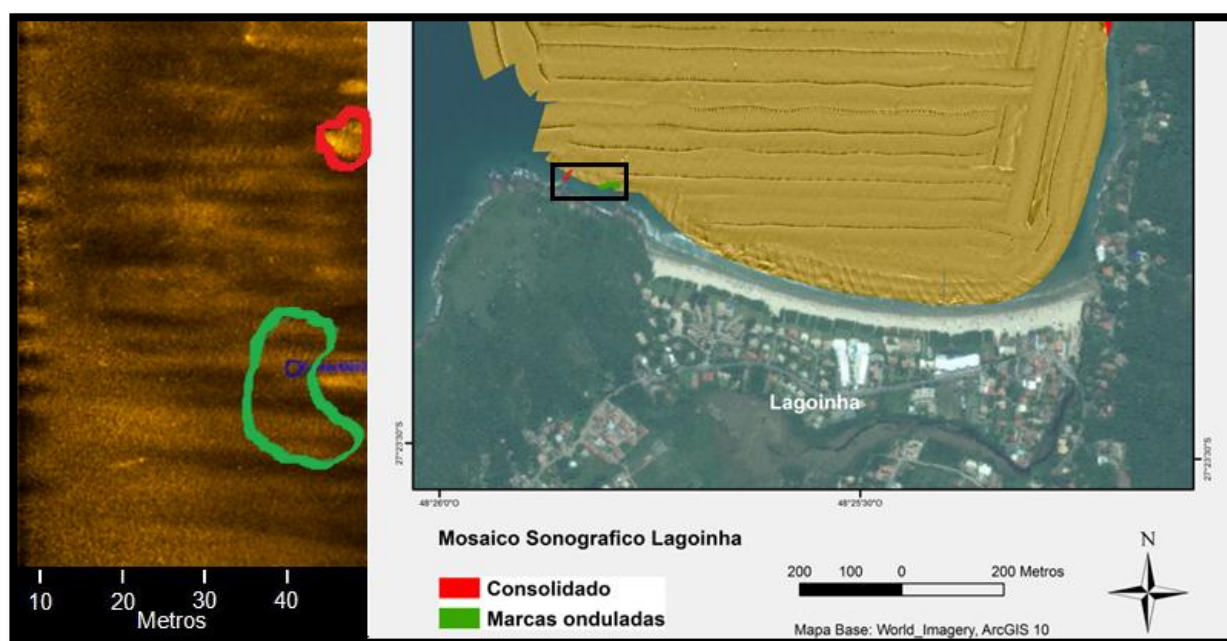




Figura 57 - Mosaico sonográfico da Lagoinha.

A forma de leito (Figura 58) classificada como marca ondulada apresentou comprimento em torno de 0,6 m, no entanto sua classificação ficou impossibilitada, pois visualmente é quase que imperceptível uma continuidade lateral deste padrão. Esta visualização pode ter sido prejudicada, devido uma grande perda de sinal na extremidade da linha que fica para a parte mais profunda devido o espalhamento do sinal para fora do transdutor.

Não foi possível verificar a altura e nem a simetria das marcas onduladas, pois as mesmas não puderam ser visualizadas na batimetria, fator resultante do tamanho da feição que deve ser menor que a resolução vertical do equipamento, ou ainda pelo fato de muitos perfis apresentarem ruídos maiores que as feições da área, obliterando assim dos perfis batimétricos.



**Figura 58 - Imagem sonográfica identificando as marcas onduladas e rocha. No polígono verde as marcas onduladas e no vermelho o substrato rochoso.**

Como o levantamento desta área ocorreu em dois dias distintos, com um intervalo de 14 dias, a batimetria apresentou um desnível (Figura 59). O procedimento de realizar o levantamento sem um novo *patch test*, após um intervalo grande de tempo e modificando a posição do transdutor diariamente acarretou em um desnível de 0,20 cm na hora da união dos arquivos, que foi corrigido modificando a profundidade do *offset* do transdutor do interferômetro.

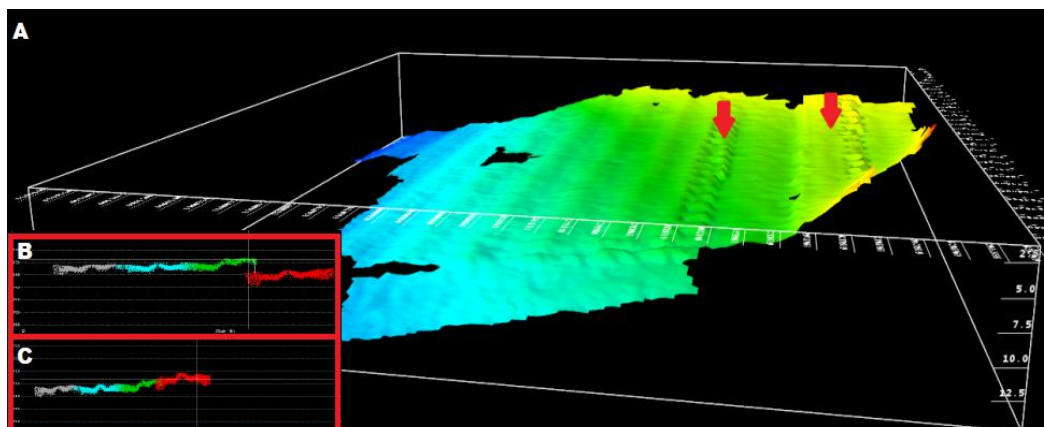


Figura 59 - Identificação do desnível encontrado ao unir dias diferentes de levantamento batimétrico. Em A uma representação 3D do fundo marinho processado na Lagoinha. Em B o desnível identificado no processamento e em C a correção deste desnível feita de forma manual no *software* Hypack.

As isóbatas apresentaram-se paralelas a linha costa (Figura 60), indo da maior profundidade de 15,35 a menores profundidades de 2 metros. Através de perfis perpendiculares à costa, foi calculado a declividade da plataforma interna (Figura 61) em P1 e P2 a declividade foi de  $1,3^\circ$  e no perfil P3 a declividade foi de  $1,5^\circ$ . Dos perfis P3 para P1 nota-se a saída de um perfil convexo, reflexo de um acúmulo de sedimento neste setor, e que vai modificando para um perfil côncavo a medida que se aproxima do outro promontório, entra a Lagoinha e Ponta das Canas. Segundo Vieira da Silva *et al.*, (2016) a Lagoinha recebe suprimento sedimentar através de transposição sedimentar (*bypassing*) pelo promontório Brava - Lagoinha, resulta em acúmulo de areia que deve ser responsável pelo fornecimento de areia para a Lagoinha e também para Ponta das Canas.



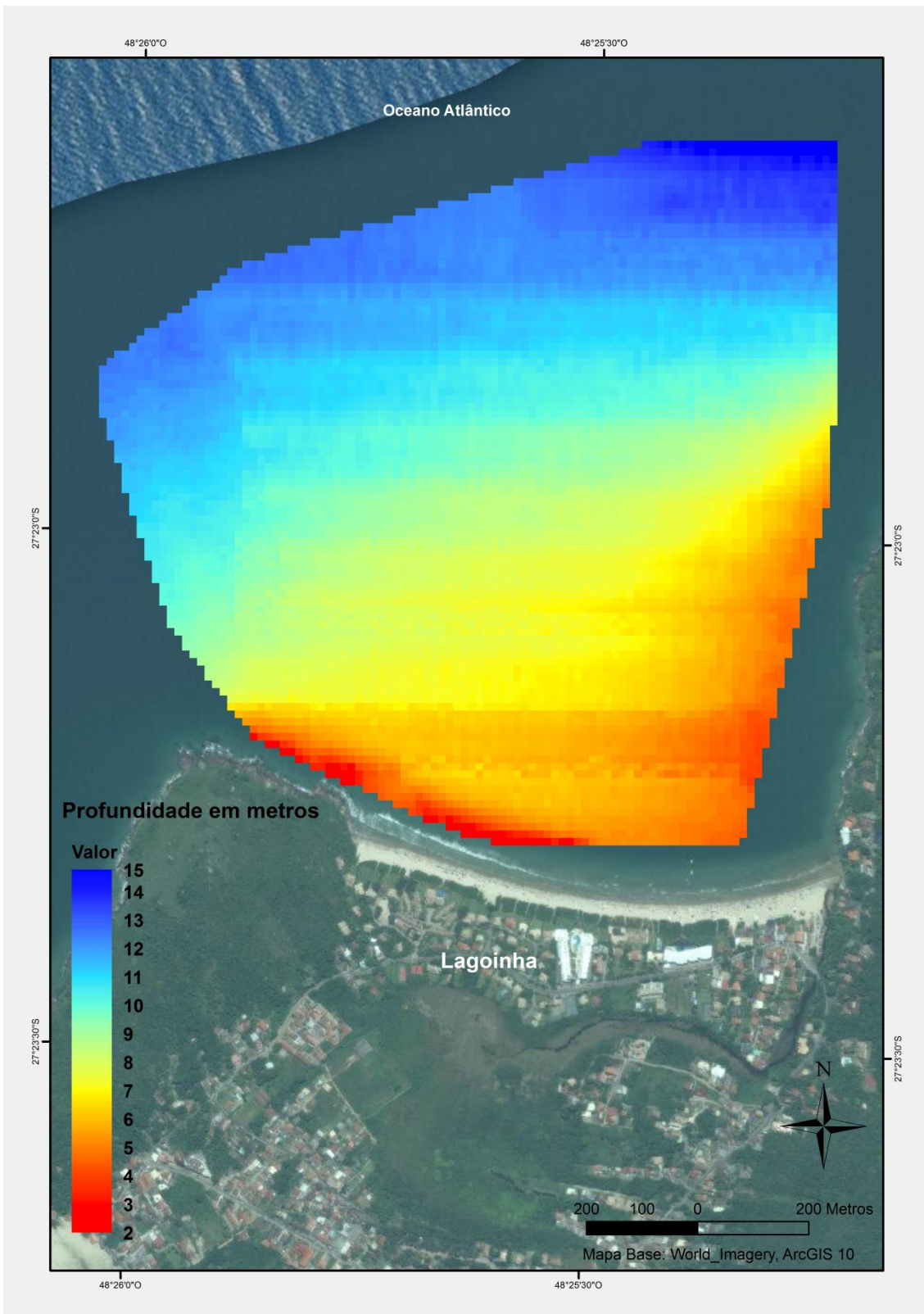


Figura 60 - Mapa batimétrico Lagoinha.

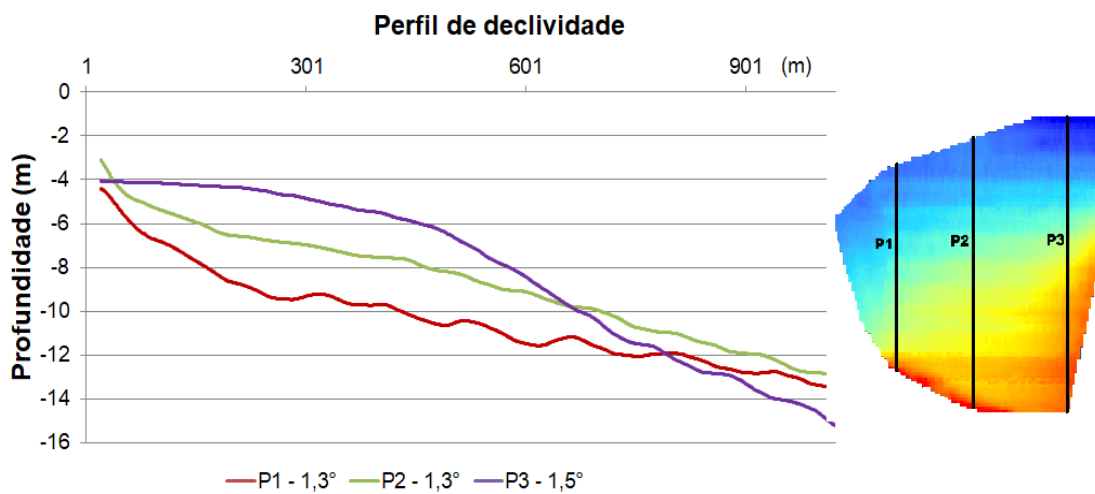


Figura 61 - Perfil declividade Lagoinha.



## 5 Conclusão

Através deste trabalho é possível verificar que a interferometria é um método eficaz e de maior praticidade na hora da aquisição dos dados, pois utiliza um único equipamento para adquirir dados de sonografia e de batimetria de varredura. Os quais se mostraram essenciais para o trabalho em questão, além de subsidiar diversos outros estudos e publicações, gerando conteúdos fundamentais para um maior conhecimento da plataforma interna do entorno da Ilha de Santa Catarina.

A batimetria cobriu áreas entre 3 e 18 metros de profundidade nas diferentes subáreas, revelando que a interação da onda com o leito marinho ocorria a partir de uma profundidade próxima a 5 metros, relacionada a profundidade de fechamento. Os promontórios mostraram-se os locais de maior declividade, com uma média variando em 4,6° na Ponta das Feiticeiras e 3,1° na Ponta do Rapa. Enquanto que nas enseadas foi de 1,3° nos Ingleses, 1,5° Brava e 1,3° na Lagoinha, sendo as duas primeiras com face voltada para exposição das ondas e a Lagoinha abrigada em relação à incidência de ondas.

Quanto às formas de leito identificou-se sequencias, descritas na bibliografia, relacionadas ao movimento orbital das ondas ao se aproximares da costa, uma área abrangendo longitudinalmente toda a Brava, e outro ponto na parte mais ao sul do promontório da Ponta das Feiticeiras.

O padrão de intensidade do sinal de retroespalhamento da área de estudo apresentou-se na grande maioria de forma homogênea o que sugere uma homogeneidade quanto a granulometria, mas que necessitaria de amostragem direta para a sua corroboração.

Dentre a possível modificação granulométrica, foi identificada uma área que se estende entre a ponta do Rapa até a Lagoinha, onde o sinal sugere um sedimento de maior granulometria que a adjacente.

Outra forma de leito em destaque é a megaondulação do tipo catenária, variando de 3 m a 8 m de comprimento, localizada próximo ao entorno da Ponta dos Ingleses, possuindo uma assimetria que identifica sua migração para fora da enseada, já tendo sua continuidade descrita por Porpilho (2016).

Dentre os diversos padrões sonográficos, foram identificados também, um naufrágio na parte sul dos Ingleses, além de possuir uma área com muitos detritos de possível origem antropogênica. E vários padrões relacionados a substrato consolidado, identificados como rochas circundantes do prolongamento dos promontórios.

Considera-se, no entanto, que para a identificação e mensuração das formas de leito pertencentes a área de estudo deste trabalho acadêmico, ocorreram algumas limitações ou obstáculos referentes ao levantamento de dados. Dentre elas a divisão das subáreas em levantamentos com grande intervalo de tempo entre as campanhas e a modificação da posição do transdutor sem um novo *patch test*.

De modo geral, considerando o tamanho da operação e todos os dados fornecidos ao longo dos dois anos de campo, os dados foram satisfatórios e suficientes para descrever a área de estudo. Sugere-se assim, para próximos estudos: um aprimoramento em relação as resoluções sonográficas e batimétricas com a finalidade de gerar mapas 3D representativos das migrações das formas de leito; além de amostragem direta em pontos estratégicos para corroborar a amostragem indireta.

## Referências Bibliográficas

ALLEN, J.R.L. Sedimentary structures: Sorby and the last decade. **Journal Of The Geological Society**, [s.l.], v. 150, n. 3, p.417-425, 1 jun. 1993. Geological Society of London. .

AMOS, C.I.; KING, E.I. Bedforms of the Canadian eastern seaboard: A comparison with global occurrences. **Marine Geology**, [s.l.], v. 57, n. 1-4, p.167-208, maio 1984. Elsevier BV. .

ARAUJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, E. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka. **Anais...** [S.l.:s.n.], 2003. CD-ROM

ARENDARTCHUK, F. **Caracterização morfossedimentar da plataforma continental interna ao sul da Ilha de Santa Catarina**. 2018. 121 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2018.

ASHLEY, G. M. Classification of Large-Scale Subaqueous Bedforms: A New Look at an Old Problem. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, n. 1, p. 160–172, 1990.

AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Brazilian Journal Of Geophysics**, [s.l.], p. 241-256. dez. 2000.

BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. xii,279p. ISBN 8571930988.

BLONDEL, P. **The handbook of sidescan sonar**. Chichester: Praxis Publishing Ltda, 2009. 344 p.

BOEYINGA, J.; DUSSELJEE, D.W.; POOL, A.D.; SCHOUTENS, P.; VERDUIN, F.; VAN ZWICHT, B.N.M.; KLEIN, A.H.F. The effects of bypass dunefields on the stability of a headland bay beach: A case study. **Coastal Engineering**, v.57, p.152-159, 2010

CACCHIONE D.A.; DRAKE D.E.; GRANT W.D.; TATE, G.B. Rippled scour depressions on the inner continental-shelf off central California. **Journal of Sedimentary Petrology**, 54:1280–1291. 1984.

CLIFTON, H.E.; HUNTER, R.E.; PHILLIPS, R.L. Depositional structures and processes in the non-barred high energy nearshore. **Journal of Sedimentary Petrology**, 41, 651-670. 1971.

COBRA, D.T.; OPPENHEIM, A.V.; JAFFE, J.S. Geometric Distortions in Side-Scan Sonar. **IEEE Journal Of Oceanic Engineering**, [S.I.], p. 252-268. jun.1992.

COCO, G.; MURRAY, A.B.; GRENN, M.O. Sorted bed forms as self-organized patterns. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, 2007.

COLLIER, J.S.; BROWN, C.J. Correlation of sidescan backscatter with grain size. **Marine Geology: International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics**, [S.l.], p. 431-449. 2005.

DALINGHAUS, C. **Análise da estabilidade da forma em planta e perfil nas praias da Barra da Lagoa, Moçambique e Ingleses, Florianópolis - SC: aplicações em análise de perigos costeiros**. 2016. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2016.

DEAN, R.G. & DALRYMPLE, R.A. **“Coastal Processes”**. Cambridge University Press, 475 p. 2002.

DODD, D. Uncertainty Evaluation of the EdgeTech 4600 Swath Bathymetry System. In: U.S. HYDRO 2013 CONFERENCE, 14., 2013, New Orleans. **Anais...** .New Orleans: Thsoa, 2013.

FALCÃO, L.C.; AYRES, A. Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, sul da Bahia. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p.279-289, 2010.

FLEMMING, B.W. Underwater sand dunes along the southeast African continental margin — Observations and implications. **Marine Geology**, [s.l.], v. 26, n. 3-4, p.177-198, mar. 1978. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(78\)90059-2](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(78)90059-2).

FRIEDMAN, G.M.; SANDERS, J.E.; KOPASKA-MERKEL, D.C. **Principles of Sedimentary Deposits: Stratigraphy and Sedimentology**. New York: Macmillan 717p. 1992.

GAGG, G. **Levantamentos hidrográficos: noções gerais**. Porto Alegre. 41p. Apostila. Departamento de Geodesia. Universidade federal do Rio Grande do Sul.

GRÉ, J.C.R. Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina – Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.4, n.8, p.92-100, 1989.

GREEN, M.O.; VICENT, C.E.; TREMBANIS, A.C. Suspension of coarse and fine sand on a wave-dominated shoreface, with implications for the development of rippled scour depressions. **Continental Shelf Research**. v. 24, p.317-335, 2003.

GOLDSTEIN, E.B.; MURRAY, A.B.; COCO, G. Sorted bedform pattern evolution: Persistence, destruction and self-organized intermittency. **Geophysical Research Letters**, v. 38, 2011.

GOMES DA SILVA, P. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC**. 2014. 237p. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2014.

HORN FILHO, N.O. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, Florianópolis, v. 18, p.71-98, 2003.

HYPACK (Ed.). **2013 HYPACK**: User manual. Middletown: Hypack, Inc, 2013.

IHO-INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (Ed.). **C-13 MANUAL ON HYDROGRAPHY**. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2011.

JOHNSON, P.H.; HELFERTY, M. **The geological interpretation of side-scan sonar**. *Reviews of Geophysics*. 28. Nov. 1990. P.357- 380.

JONES, E.J.W. **Marine geophysics**. Chichester: J. Wiley & Sons, c1999. viii, 466 p. ISBN 0471986941

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 438 p.

KENNETT, J.P. **Marine geology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1982. xv, 813 p. ISBN 0-13-556936-2

LURTON, X. Swath Bathymetry Using Phase Difference: Theoretical Analysis of Acoustical Measurement Precision. *IEEE: Journal of Oceanic Engineering*. Washington, Dc, p. 351-363. jul. 2000.

LURTON, X.; LAMARCHE, G. (Org.). **Backscatter measurements by seafloor mapping sonars - Guidelines and Recommendations**. GeoHab Backscatter Working Group. 2015. 200p.

MARINO, M.V. **Caracterização morfossedimentar da plataforma continental interna da enseada dos Ingleses - SC, como apoio a arqueologia subaquática**. Florianópolis, 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Disponível em: <<http://tede.ufsc.br/>

MELO FILHO, E.; STRAIOTO, K.M.G.T.; ROMEU, M.A.R.; FRANCO, D. Distribuição estatística de alturas de ondas individuais em Santa Catarina: resultados preliminares . In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 2., 2006, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande, 2006.

MIOT DA SILVA, G., MOUSAVI, S.M.S., JOSE, F. 2012 Wave-driven sediment transport and beach-dune dynamics in a headland bay beach. *Marine Geology*, 323-325, 2946

MURRAY A.B. & THIELER E.R. A new hypothesis and exploratory model for the formation of large-scale inner-shelf sediment sorting and “rippled scour depressions”. *Continental Shelf Research*, 24:295–315. 2004.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. 2° ed. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2009.

OSBORNE, P. D.; VINCENT, C. E. Dynamics of large and small scale bedforms on a macrotidal shoreface under shoaling and breaking waves. *Marine Geology*, 115. 207 – 226. 1993.

PGGM – **Programa de Geologia e Geofísica Marinha**. 2010. Levantamento Geológico e Sísmico da Plataforma Continental Interna dos Estados do RS, SC e PR com ênfase nos Depósitos Granulados (Siliciclásticos, Bioclásticos e Minerais



Pesados): Plataforma Continental Interna Adjacente à Ilha de Santa Catarina. REMPLAC: 2 Relatório Preliminar. UNIVALI, UFSC. 31P

PINTO, M.W. **Evolução morfodinâmica em escala histórica do campos de dunas do Santinho-Ingleses no norte da ilha de Santa Catarina.** 2015. 165p. Dissertação de Mestrado (Pós – graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015

PORPILHO, D. **Padrão morfológico e sonográfico da plataforma continental interna adjacente ao setor leste da Ilha de Santa Catarina.** 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RISTOW, J. P. - **Estudo E Desenvolvimento De Algoritmos De Sonar Ativo Para O Mapeamento De Áreas Submersas.** 2015. 312f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SHORT, A.D. Sediments and structures in beach-nearshore environments, southeast Australia. In: Mclachlan, A. and Erasmus, T. **Sandy beaches and ecosystems.** Junk, The Hague, 145-155p. 1983.

SHORT, A.D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** England: John Wiley & Sons Ltd. 1999.

SILVA, P.G. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC.** 2014. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Geociencias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis, 2014.

SOUZA, L.A.P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas.** 2006. 311 f. Tese (Doutor) - Curso de Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentaria.** São Paulo: Edgard Blucher, 2003. ix, 400 p.

TRUCOLLO. E.C. **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC. 1998.** 100p. Dissertação de mestrado (Pós – graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

TRUCCOLO, E.C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C.A. F. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, v.39 (SI), p.547- 552, 2006.

VAN MEENE, J.W.H. Modeling the morphodynamics of shoreface connected sand ridges. 2008.

VAN RIJN, L.C. **Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas.** Aqua Publications: Amsterdam, Holanda. 1993.

VAN RIJN, L.C. “Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport,” **Journal of Hydraulic Division**, ASCE, Vol. 133, No. 6, 649667p. 2007

VIEIRA DA SILVA, G.; MULER, M.; PRADO, M.F.V.; SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F.; TOLDO JUNIOR, E. Shoreline change analysis and insight into the sediment transport path along Santa Catarina island. North shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 2016a

VIEIRA DA SILVA, G.; TOLDO JUNIOR, E.; KLEIN, A.H.F.; SHORT, A.D.; WOODROFFE, C.D. Heandland sand bypassing – **Quantification of net sediment transport in embayed beaches, Santa Catarina island north shore, Southern Brazil**, v.379, p.13-27, 2016b

## ANEXO A - Especificações do equipamento


**4600 Swath Bathymetry  
and Side Scan Sonar**
**2.4 Product Specifications**

	<u>230 kHz Model</u>	<u>540 kHz Model</u>
<b>Physicals</b>		
Size	: 1210 L x 260 W x 230 H (mm) 47.64 L x 10.13 W x 9.18 H (in)	1210 L x 260 W x 230 H (mm) 47.64 L x 10.13 W x 9.18 H (in)
Weight	: 44 kg (98 lbs)	44 kg (98 lbs)
Construction	: Aluminum and Polyurethane	Aluminum and Polyurethane
Color	: Yellow and Black	Yellow and Black
Sealing	: Watertight Cover O-ring Seal with Purge Valve	Watertight Cover O-ring Seal with Purge Valve
<b>Side Scan Sonar</b>		
Frequency	: 230 kHz	540 kHz
Range (per Side)	: 225 m (738 ft)	125 m (410 ft)
Range Resolution	: 30 mm (1.18 in)	15 mm (0.6 in)
Beam Width Along Track	: 0.64° (2-way)	0.5° (2-way)
Depression Angle	: 30°	30°
<b>Interferometric Swath Bathymetry</b>		
Maximum Swath	: 350 m	150 m
Range Resolution	: 60 mm (2.36 in)	30 mm (2.36 in)
Ping Repetition Rate	: 25 m (82 ft) = 30 Hz, 50 m (164 ft) = 15 Hz, 100 m (328 ft) = 7.5 Hz	25 m (82 ft) = 60 Hz, 50 m (164 ft) = 30 Hz, 100 m (328 ft) = 15 Hz
Max Depth Below Tx	: 120 m	50 m
<b>Sonar Head Power Requirements</b>		
DC Input	: 48 VDC	48 VDC
Power	: 100 Watts	100 Watts
<b>Environment</b>		
Operating Temperature	: 0°C to 40°C (32°F to 104°F)	0°C to 40°C (32°F to 104°F)
Storage Temperature	: -20°C to 60°C (-4°F to 140°F)	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)
Relative Humidity	: Operating 0 to 80%, Non-Operating 0 to 100%	Operating 0 to 80%, Non-Operating 0 to 100%



**4600 Swath Bathymetry  
and Side Scan Sonar**

---

***Topside Interface***

Interface	: 100 baseT Ethernet Serial RS-232	100 baseT Ethernet Serial RS-232
Power Supply	: 110/220 VAC Auto-Sensing	110/220 VAC Auto-Sensing

***Topside Processor***

Operating System	: Windows 7	Windows 7
Interface	: 100 baseT Ethernet, Serial RS-232	100 baseT Ethernet Serial RS-232
Display	: Dual 21" LCD Monitors, Expandable to 4	Dual 21" LCD Monitors, Expandable to 4
Storage	: 1TB min Hard Drive & RW-DVD	1TB min Hard Drive & RW-DVD
Power Supply :	110/220 VAC Auto-Sensing	110/220 VAC Auto-Sensing

## APENDICE - Mapa Padrões sonográficos

