

Jessica Finco

**CARACTERIZAÇÃO DA GEODIVERSIDADE DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA A NOROESTE
DA ILHA DO ARVOREDO – SC ATRAVÉS DE DADOS
GEOACÚSTICOS E SEDIMENTOLÓGICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho

Florianópolis
2018

Finco, Jessica

CARACTERIZAÇÃO DA GEODIVERSIDADE DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA A NOROESTE DA ILHA DO ARVOREDO - SC ATRAVÉS DE DADOS GEOACÚSTICOS E SEDIMENTOLÓGICOS / Jessica Finco ; orientador, Jarbas Bonetti, 2018. 97 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

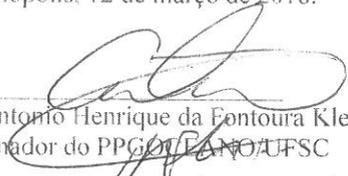
1. Oceanografia. 2. Interferometria. 3. Geoacústica. 4. Retroespalhamento acústico. 4. Sedimentologia
I. Bonetti, Jarbas . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia.
III. Título.

Jessica Finco

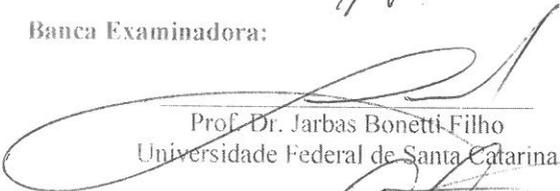
**Caracterização da geodiversidade da plataforma
continental interna a noroeste da Ilha do Arvoredo – SC
através de dados geocústicos e sedimentológicos**

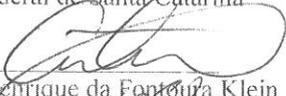
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Oceanografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Oceanografia.

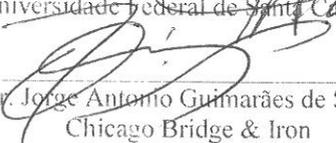
Florianópolis, 12 de março de 2018.


Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Coordenador do PPG/OCEANO/UFSC

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Universidade Federal de Santa Catarina


Dr. Jorge Antonio Guimarães de Souza
Chicago Bridge & Iron

Àqueles que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Jarbas Bonetti pela orientação, confiança e pela oportunidade de fazer parte do grupo do Laboratório de Oceanografia Costeira – LOC, durante estes dois anos.

Ao professor Paulo Horta por viabilizar minha participação na saída a campo ao Arvoredo para a coleta de sedimento.

Ao Dr. Jorge Antônio Guimarães de Souza por toda a ajuda e por viabilizar o processamento de parte dos dados na CB&I.

Aos colegas do LOC, especialmente ao Michel, Jessica, André e Danae por toda a valiosa ajuda.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À minha família por tudo que sempre fizeram por mim.

“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo. Olha para trás, para toda a jornada: os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos povoados, e vê a sua frente um oceano tão vasto que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. Você pode apenas ir em frente. O rio precisa se arriscar e entrar no oceano. E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece, porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano. Mas tornar-se oceano. Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento”.

Osho - O RIO E O OCEANO

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo, caracterizar a geodiversidade da plataforma continental interna a noroeste da Ilha do Arvoredo – SC. Para tal, foram utilizados dados sedimentares coletados em 2017 e dados geoacústicos adquiridos em 2013 por um interferômetro EdgeTech 4600 com frequência de 540kHz, o qual forneceu informações batimétricas, de retroespalhamento e de sonar de varredura lateral. Cada dado foi processado separadamente e a sua integração possibilitou a elaboração de um mapa síntese da geodiversidade local. Os resultados mostraram que a geomorfologia da área caracteriza-se pela presença de um canal em forma de “V”, sobre o qual ocorrem três depressões, além da existência de dois afloramentos rochosos, um emerso e outro não. Dentre as feições encontradas, destaca-se a ocorrência de um banco de rodolitos que ocorre a partir dos 8m de profundidade e recobre cerca de 825.000m². Também foram identificadas marcas onduladas na extremidade sul da área, indicando aumento da hidrodinâmica neste setor. Quanto à composição de fundo, observou-se a presença de altas concentrações de carbonato biodetrítico sobre o banco de rodolitos, e concentrações consideravelmente mais baixas na plataforma arenosa adjacente ao costão NW (noroeste) da Ilha do Arvoredo (entre 0 e 8m de profundidade). Após a eliminação do carbonato biodetrítico das amostras, foi identificada a ocorrência de areia fina recobrendo a plataforma arenosa e areia média na área onde ocorrem rodolitos. A interferometria se mostrou uma técnica eficiente no levantamento de dados da plataforma continental interna, possibilitando a caracterização da geodiversidade local.

Palavras-chave: Interferometria. Geoacústica. Retroespalhamento acústico. Sedimentologia.

ABSTRACT

The present study aims to characterize the geodiversity of the inner continental shelf to the northwest of Arvoredo Island – SC. For that, were used sedimentary data collected in 2017 and geoacoustic data acquired in 2013 by an interferometer EdgeTech 4600, which provided bathymetric, backscatter and side scan sonar information. Each data was processed separately and its integration enabled the elaboration of a local geodiversity synthesis map. The results showed that the geomorphology is characterized by the presence of a V-shaped channel, which three depressions occur, and the existence of two rocky outcrops, where just one emerging. Among the features found, is worth it mention the occurrence of a rhodolith bank that occurs from 8 metters deep and covers about 825,000 m². Ripple marks were also identified at the southern area end, indicating a possible hydrodynamic increase in this sector. As for the sediment composition, the presence of high concentrations of biodetritic carbonate on the rhodolith bank was observed, and considerably lower concentrations on the northwest sandy platform adjacent of Arvoredo Island (between 0 and 8m depth). After biodetritic carbonate elimination from the samples, the occurrence of fine sand covering the sandy platform and medium sand in the area where rhodoliths occurred. Interferometry proved to be an efficient technique in the internal continental shelf data collection, allowing the characterization of local geodiversity.

Keywords: Interferometry. Geoacoustics. Acoustic backscatter. Sedimentology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.	27
Figura 2 Banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo e exemplos de animais que o utilizam como abrigo. Fonte: SEGAL et al. (2017).....	29
Figura 3 Batimetria da plataforma continental interna de Santa Catarina. Fonte: Abreu (1998).	31
Figura 4 Áreas insulares e marinhas da REBIO. Fonte: ICMBio. Disponível em:< http://www.icmbio.gov.br/rebioarvoredo/quem-somos/historico.html >.	33
Figura 5 (A): Composição de transdutores do EdgeTech 4600. Fonte: EdgeTech (2011). (B): Sistema interferométrico e seu funcionamento. Adaptado de Eleftheriou (2013).	40
Figura 6 MBES x PDBS - aquisição de dados em águas rasas (DODD, 2015).	40
Figura 7 (A): Comportamento de uma onda incidente em uma superfície rugosa. (B): Campo acústico gerado na água. Fonte: Ristow (2015, p.70).	42
Figura 8 Disposição das linhas navegadas durante o levantamento hidrográfico.	46
Figura 9 Movimentos de uma embarcação. (Fonte: PORPILHO, 2015).	47
Figura 10 Localização do ponto de fundeio do barco para coleta das amostras sedimentares.	48
Figura 11 Amostrador de fundo do tipo <i>van veen</i> utilizado para coleta. É possível observar a presença de rodolitos no amostrador.	49
Figura 12 (A): Localização do ponto de fundeio e área de coleta das amostras ROD-01, ROD-02 e ROD-03 em cima do banco de rodolitos. (B): Registro fotográfico realizado no momento da coleta com destaque para o banco de rodolitos ao fundo.	49
Figura 13 (A): Localização do ponto de fundeio e área de coleta das amostras Areia-1, Areia-2 e Areia-3 em cima da plataforma arenosa	

adjacente à Ilha do Arvoredo. (B): Registro fotográfico realizado no momento da coleta com destaque para a plataforma arenosa ao fundo.	50
Figura 14 Fluxograma para processamento de dados batimétricos no software CARIS HIPS&SIPS 8.1.	51
Figura 15 Exemplo de <i>BASE Surface</i> . Fonte: manual do usuário do programa CARIS. p 188.....	52
Figura 16 Tela de edição das linhas no CARIS. Em cinza temos a representação dos dados brutos enquanto que as nuvens de pontos coloridas são os dados remanescentes à eliminação de pontos dispersos.	54
Figura 17 Fluxograma para processamento de dados de retroespalhamento no software CARIS.....	55
Figura 18 Tela de edição dos GeoBaRs no software CARIS.....	56
Figura 19 Fluxograma para processamento de dados sonográficos no software SonarWiz.....	57
Figura 20 (A): Microscópio Zeiss AXIO ZOOM V16 utilizado para fotografar as amostras. (B): Estufa utilizada para a secagem.....	58
Figura 21 Mapa batimétrico. Base: Imagem obtida no Google Earth PRO - data 30/06/2009.....	62
Figura 22 Batimetria da área de estudo. (A): Destaque para as três áreas onde ocorrem as maiores profundidades observadas. (B): Destaque para os dois afloramentos rochosos.	63
Figura 23 Batimetria da enseada de Tijucas e áreas adjacentes. Fonte: modificado de Bitencourt (2013).	64
Figura 24 Perfil evidenciando a maior variação batimétrica e a área mais profunda encontrada.....	65
Figura 25 Perfil batimétrico evidenciando o canal presente na área.	65
Figura 26 Perfil batimétrico evidenciando o canal presente na área.	66
Figura 27 Perfil batimétrico evidenciando a depressão existente no centro do mosaico	66
Figura 28 Perfil batimétrico evidenciando a depressão existente na porção sul do mosaico.....	68

Figura 29 Perfil batimétrico ilustrando as principais características morfológicas da área: o início do canal e um afloramento rochoso.	68
Figura 30 Representação batimétrica em três dimensões.	69
Figura 31 Detalhe das marcas observadas no mosaico. A seta indica o sentido da navegação.	69
Figura 32 Mosaico sonografia – dados processados no software SonarWiz.	71
Figura 33 Mosaico backscatter – dados processados no software CARIS.	72
Figura 34 Imagens referentes à plataforma arenosa adjacente ao costão da Ilha do Arvoredo. (A): Registro de SVL. (B): Registro <i>de backscatter</i> . (C): Fotografia da plataforma arenosa, tirada em 07/04/2017. (D): Fotografia do sedimento coletado sobre a plataforma arenosa - Amostra Areia-2. (E): Localização dos registros no mosaico.	73
Figura 35 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. (A): Imagem de SVL. (B): Imagem de retroespalhamento. (C): Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. (D): Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra ROD3. (E): Localização dos registros no mosaico.	74
Figura 36 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. A: Imagem de SVL. B: Imagem de retroespalhamento. C: Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. D: Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra ROD2. (E): Localização dos registros no mosaico.	75
Figura 37 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. A: Imagem de SVL. B: imagem de retroespalhamento. C: Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. D: Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra P-2. (E): Localização dos registros no mosaico.	76
Figura 38 - Delimitação do banco de rodolitos sobre o mosaico de SVL.	77
Figura 39 Delimitação do banco de rodolitos sobre o mosaico batimétrico.	78

Figura 40 Afloramento rochoso correspondente à Pedra do Boi. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.....	79
Figura 41 Afloramento rochoso não emerso situado na porção centro-sul do mosaico. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.	79
Figura 42 Imagens relacionadas às manchas presentes na região noroeste do mosaico. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico	80
Figura 43 Marcas onduladas encontradas na porção sul da área. (A) e (B): Registro de SVL. (C): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.....	80
Figura 44 Mosaico do retroespalhamento.	83
Figura 45 Mapa síntese da geodiversidade.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de carbonato biodetrítico nas amostras sedimentares.	81
Tabela 2 – Diâmetro médio de grão (mm), grau de seleção, classe sedimentar e % de areia das amostras de sedimento superficial antes e após a eliminação de carbonato.	82
Tabela 3 Unidades identificadas e sua respectiva cobertura espacial....	84

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	24
	1.1.1 Objetivo Geral	24
	1.1.2 Objetivos Específicos.....	25
2.	ÁREA DE ESTUDO	27
2.1	IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA	27
2.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA	30
	2.2.1 Geomorfologia e geologia.....	30
	2.2.2 Sedimentologia.....	33
2.3	ASPECTOS METEO-OCEANOGRÁFICOS	34
	2.3.1 Massas D'água	34
	2.3.2 Marés	36
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
3.1	GEODIVERSIDADE	37
	3.1.1 Geodiversidade Marinha	38
3.2	GEOACÚSTICA.....	38
	3.2.1 Batimetria de varredura	41
	3.2.2 Sonar de varredura lateral (SVL).....	41
	3.2.3 Retroespalhamento (<i>backscatter</i>).....	42
	3.2.4 Relação entre retroespalhamento e as características texturais dos sedimentos.....	42
4	METODOLOGIA	45
4.1	AQUISIÇÃO DOS DADOS	45
	4.1.1 Dados geoacústicos	45
	4.1.2 Dados sedimentológicos.....	47
4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS	50
	4.2.1 Processamento dos dados batimétricos.....	50
	4.2.2 Processamento dos dados de retroespalhamento (<i>backscatter</i>)	54
	4.2.3 Processamento dos dados sonográficos.....	56
	4.2.4 Análise sedimentológica	58

4.2.5	Mapa síntese da geodiversidade.....	59	
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61	
5.1	BATIMETRIA	61	
5.2	SONAR DE VARREDURA LATERAL E BACKSCATTER..	70	
5.3	SEDIMENTOLOGIA	81	
	5.3.1	Sedimentologia x Resposta acústica.....	83
5.4	MAPA SÍNTESE DA GEODIVERSIDADE.....	84	
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86	
	REFERÊNCIAS.....	87	

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população e sua pressão sobre os ecossistemas marinhos têm ameaçado áreas ambientalmente relevantes situadas ao longo da plataforma continental, com atividades que vão desde o aumento da carga de poluentes à pesca comercial. Sabe-se que há uma tendência mundial da população em ocupar predominantemente áreas próximas ao litoral, a exemplo do Brasil, onde 26,6% da população vive na zona costeira (IBGE, 2011).

Frente a este panorama, o desenvolvimento de estudos relacionados às plataformas continentais internas é extremamente importante para o monitoramento e planejamento das atividades antrópicas exercidas nestes ambientes.

A criação de Unidades de Conservação (UCs) com foco em uso humano restrito está entre as principais formas de intervenção para se evitar a perda de biodiversidade diante dos crescentes impactos aos ecossistemas (DELELIS et al., 2010; VALLEJO, 2002).

No Brasil existem apenas duas Reservas Biológicas Marinhas, sendo uma delas situada em Santa Catarina. A Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (REBIO) constitui uma UC de Proteção Integral cuja relevância ecológica pode ser expressa pela presença de alta diversidade de ecossistemas, existência de espécies endêmicas, ocorrência de espécies animais e vegetais ameaçadas de extinção, existência de sítios arqueológicos, além de abrigar o único banco de algas calcárias do litoral sul brasileiro (IBAMA-2, 2004).

Diversos trabalhos com foco na biodiversidade já foram realizados na REBIO, como Valle Jr et al. (2011) e Kotas et al. (2017) que observaram uma grande diversidade de espécies associadas ao fundo da REBIO, indicando ser esta uma área muito importante para a criação e reprodução da fauna demersal marinha; Horta et al. (2008) que consideraram o infralitoral da Reserva como um ambiente altamente diverso; Lanari & Copertino (2007) que observaram uma fauna bastante rica e diversa que exerce um importante papel na estruturação e manutenção do ecossistema ali presente, dentre outros.

Adicionalmente aos estudos sobre a biodiversidade, no ambiente marinho a caracterização do tipo de substrato é muito importante. Através dela, é possível compreender toda a cadeia produtiva visto que, desconsiderando os microrganismos, cerca de 98% das espécies existentes nos oceanos e regiões costeiras são bentônicas em pelo menos uma etapa de sua vida (MUSSI, 2017). Além disso,

segundo Roff & Taylor (2000), os dados abióticos controlam em amplas escalas a distribuição dos organismos.

Neste sentido, surge a importância de estudos relacionados à geodiversidade. Este termo é bastante recente, tendo surgido, segundo Gray (2004), na década de 1990 e, por se tratar de um conceito novo, muitos autores tem definições distintas para abordá-lo. Uma das propostas mais abrangentes é a de Brilha (2005) que define geodiversidade como a “variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra”.

Em relação às variáveis abióticas, a REBIO e suas áreas adjacentes já foram alvo de estudos em um âmbito regional. Quanto à caracterização sedimentológica da plataforma continental interna, destacam-se os trabalhos de Abreu (1998), Abreu e Grabowski Neto (2003), Almeida (2008), Bernardo (2008), Bitencourt (2013) e Nascimento et al. (2015). Já Carvalho et al. (1998), Obata (2016), e Amorim (2013) estudaram a distribuição das massas d’água na região, enquanto Chludinsky & Bonetti (2002) e Pereira & Bonetti (2018) caracterizaram a geomorfologia da área. Ainda, recentemente foram publicados dados referentes ao projeto MAArE (Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno – SEGAL et al., 2017) que contribuíram para o melhor entendimento acerca da caracterização oceanográfica da Reserva.

O presente trabalho descreve, em escala de detalhe, a geodiversidade da porção noroeste da Ilha do Arvoredo. O mesmo visa caracterizar esta área por meio de dados de interferometria e sedimentologia de forma a contribuir para o entendimento da distribuição das características abióticas nesta porção da REBIO.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Mapear a geomorfologia, as feições e o tipo de fundo presente na plataforma continental interna a noroeste da Ilha do Arvoredo – SC, por meio da análise de dados de interferometria, sedimentologia e da aplicação de técnicas de análise espacial, a fim de se caracterizar a geodiversidade do local.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compartmentar a batimetria local a partir do processamento de dados acústicos;
- Identificar e mapear a distribuição de feições morfossedimentares com base na análise de dados geoacústicos;
- Caracterizar, a partir de dados sedimentológicos, o tipo de fundo associado às feições identificadas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se inserida na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (aqui citada como REBIO), situada na porção central do litoral de Santa Catarina, entre Florianópolis e Bombinhas (Figura 1). Em seu entorno temos as áreas marinhas dos municípios de Tijucas, Governador Celso Ramos, Porto Belo, Bombinhas e Florianópolis. Estes municípios fazem parte da região hidrográfica do Litoral Centro, cujos principais afluentes são o Rio Cubatão e o Rio Tijucas que deságuam na Baía de Tijucas, próximo à Reserva (IBAMA-3, 2004).

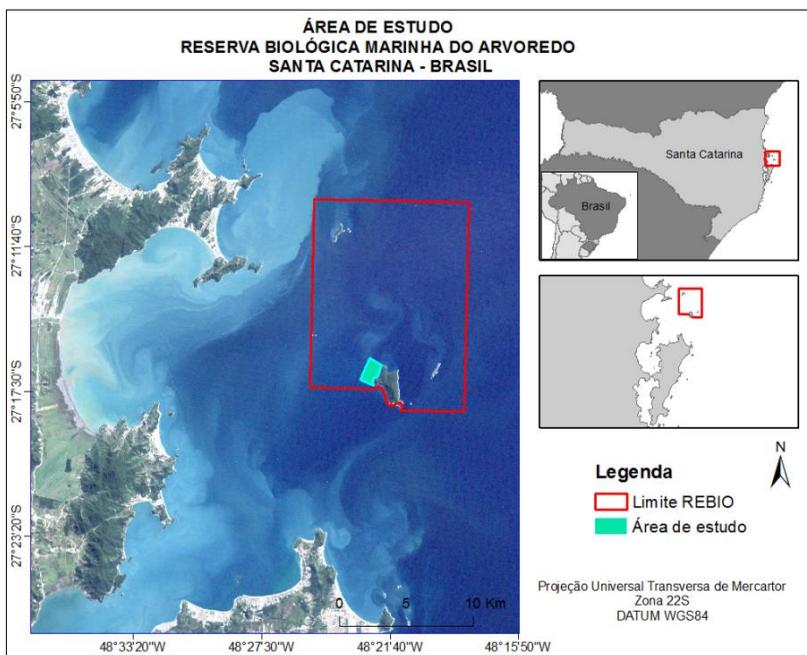


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.

2.1 IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA

A REBIO é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, criada em 12 de março de 1990 através do Decreto nº99.124. Possui 17.600 hectares, abrangendo em seu interior as Ilhas do Arvoredo, Galé,

Deserta e Calhau de São Pedro, sendo apenas 2% dessa área constituída por terras emersas (ICMBIO, 2016).

No Brasil existem apenas duas Reservas Biológicas Marinhas, a do Atol das Rocas e a do Arvoredo. A primeira encontra-se situada a aproximadamente 200 quilômetros da costa, enquanto que a REBIO do Arvoredo localiza-se a apenas 5 quilômetros da mesma. Desta forma, uma das principais ameaças à REBIO consiste na ocupação humana em seus arredores, visto que os municípios que compõe sua área de influência encontram-se em uma das regiões mais desenvolvidas e de maior ocupação do estado de Santa Catarina. Frente a este panorama, entram aspectos referentes à impactos decorrentes do turismo, pesca comercial, atividades portuárias, indústrias de couro, calçados, cerâmicas e indústrias de extração mineral (algumas localizas às margens do Rio Tijucas) (IBAMA, 2004-2).

Desta forma, a criação da Reserva foi motivada pela necessidade de “preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites” (IBAMA, 2004-1, p. 15), visto que se trata de uma área de grande relevância ecológica.

Dentre seus atributos naturais, segundo IBAMA (2004-1), pode-se destacar:

- Alta diversidade de ecossistemas (emersos e imersos);
- Elementos da fauna com distribuição bastante restritiva;
- Existência de espécies endêmicas;
- Espécies animais e vegetais ameaçadas de extinção (26 espécies, segundo dados do projeto MAARé (2017));
- Ocorrência de prováveis espécies novas para a ciência;
- Existência de pontos de nidificação de aves marinhas;
- Existência de sítios arqueológicos, entre outros.

Como descrito anteriormente, diversos trabalhos realizados na área evidenciam a importância ecológica local, com destaque também para os estudos de Resgalla Jr et al. (2004), Gherardi (2004), Bouzon & Freire (2007), Machado & Fillmann (2010), Horta et al. (2011), Pascelli et al. (2013) e Pereira (2016).

Frente aos elementos que agregam valor ecológico à REBIO, destaca-se a ocorrência de dois bancos de rodolitos, um adjacente ao costão da Ilha do Arvoredo e outro adjacente ao costão da Ilha Deserta. Estes são constituídos de algas calcárias não articuladas que precipitam em suas paredes celulares carbonato de cálcio e carbonato de magnésio sob a forma de cristais de calcita (DIAS, 2001).

Estes bancos fornecem abrigo para uma grande diversidade de crustáceos, peixes e outros organismos que usam os pequenos espaços entre e dentro dos nódulos calcários como abrigo. Há, também, grande abundância de algas filamentosas e invertebrados, como zoantídeos, esponjas e ascídias que crescem sobre os nódulos (Figura 2) (SEGAL et al., 2017, p. 201).



Figura 2 Banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo e exemplos de animais que o utilizam como abrigo. Fonte: SEGAL et al. (2017).

Além da importância ecológica, os rodolitos – em outros locais do Brasil e do mundo - são utilizados para diversos fins com viés econômico. Dentre eles, DIAS (2001) e KEMPF (1980) citam:

- Agricultura já que o cálcio é essencial para as plantas, constituindo as paredes celulares das mesmas, além de serem aplicados ao melhoramento do solo e como aditivo de fertilizantes;
- Na indústria de cosméticos são utilizados na fabricação de dentifrícios e sais de banho;
- Na pecuária são empregados na nutrição animal como complemento de rações para aves, bovinos e suínos;
- São utilizados, também, no tratamento e denitrificação de águas

Frente aos aspectos apresentados, a criação de Unidades de Conservação com foco em uso humano restrito está entre as principais formas de intervenção para se evitar a perda de biodiversidade diante dos crescentes impactos aos ecossistemas (DELELIS et al., 2010; VALLEJO, 2002).

Neste sentido, dados do projeto MAArE (SEGAL et al., 2017) mostraram que organismos como ouriços-do-mar e peixes recifais são mais abundantes dentro da Reserva do que no entorno, assim como o número de espécies (especialmente de algas) também é maior nas ilhas da REBIO do que no entorno da UC. Adicionalmente, o monitoramento realizado revelou a ocorrência, dentro da Reserva, de espécies de crustáceos, moluscos e peixes tropicais que nunca haviam sido encontradas em Santa Catarina, fatos que reiteram a importância desta unidade de conservação.

2.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

2.2.1 Geomorfologia e geologia

A plataforma continental constitui a faixa mais rasa que circunda a maioria dos continentes e termina em direção ao mar com um aumento acentuado em sua inclinação denominado “quebra da plataforma”. Tem configuração mais ou menos plana, suavemente inclinada mar adentro, representando o prolongamento do próprio continente (COUTINHO, 1996). Em Santa Catarina, o traçado das isóbatas da plataforma continental é considerado homogêneo e paralelo à linha de costa, o que permite sua subdivisão em plataforma interna (até 30m), média (entre 10 e 100m) e externa (entre 100 e 200m) (HORN FILHO, 2003).

Ao realizar a caracterização batimétrica da área do presente estudo, Abreu (1998) afirma que as isóbatas de 10, 15 e 20m acompanham o modelado costeiro que é bastante recortado, com a presença de costões que avançam em direção ao mar e também grandes reentrâncias, como é o caso da baía de Tijucas. Já as isolinhas de 25 a 50m mantêm certo paralelismo entre si.

Adicionalmente, Abreu (1998) observou que a porção norte do estado apresenta maior distância entre as isóbatas, ou seja, menor gradiente da plataforma interna. À medida em que estas se estendem ao sul, tendem a convergir em direção à Ilha do Arvoredo, resultando em um aumento do declive a partir dos 20m de profundidade (Figura 3).

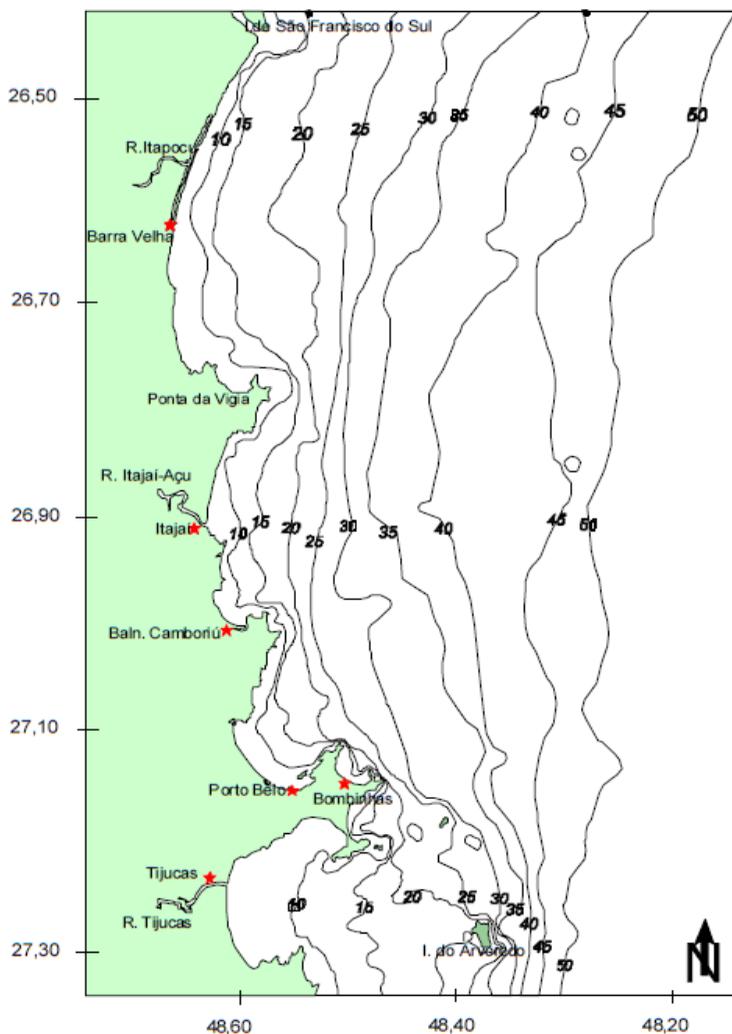


Figura 3 Batimetria da plataforma continental interna de Santa Catarina. Fonte: Abreu (1998).

Na área de estudo, as atuais características geológicas da plataforma continental são resultantes de fatores que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Desta forma, a fisiografia, a cobertura e o regime sedimentar são definidos principalmente pela

evolução geotectônica, oscilações eustáticas do nível do mar, processos climáticos e oceanográficos (ABREU; HORN FILHO, no prelo).

As principais feições geológicas da zona costeira de Santa Catarina são o complexo cristalino (cuja origem relaciona-se ao soergimento do segmento sul da Serra do Mar, sendo representado pelas ilhas e parcéis) e as bacias sedimentares situadas na porção oceânica. A geologia da região costeira sul do Brasil é caracterizada pela existência de duas grandes unidades: o embasamento pré-cambriano e a bacia intercratônica do Paraná (IBAMA-3, 2004).

Em nenhuma das formações insulares da REBIO ocorrem praias arenosas, sendo as porções litorâneas das ilhas constituídas por costões rochosos. Estes são ambientes de grande complexidade estrutural, abrigando diversos organismos, como algas, esponjas, moluscos e crustáceos que desempenham importante papel na cadeia alimentar local (SEGAL et al., 2017, p. 148; IBAMA, 2004 - 3, p.16).

A Ilha do Arvoredo, a maior do arquipélago homônimo, é constituída predominantemente por rochas graníticas alcalinas (Granito Arvoredo) e seu relevo é bastante acidentado, apresentando altitude média de 160m. A Ilha Deserta apresenta uma grande formação de falésias rochosas bastante abruptas na sua face leste. Já a Ilha das Galés, possui a mesma formação rochosa da Ilha do Arvoredo com relevo íngreme e altitude média de 40m. Por fim, o Calhau de São Pedro constitui-se de um conjunto de ilhotas compostas por dois aglomerados de rochas areníticas desprovidas de vegetação e altitude máxima de 20m (Figura 4) (IBAMA, 2004 - 3; CHLUDINSKY & BONETTI, 2002).

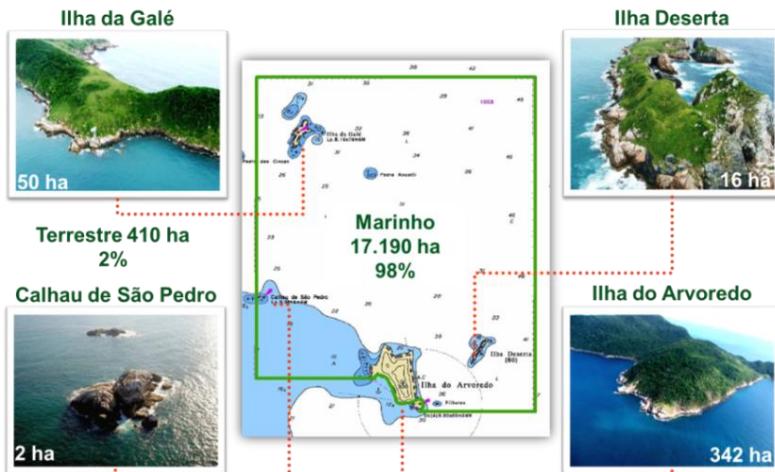


Figura 4 Áreas insulares e marinhas da REBIO. Fonte: ICMBio. Disponível em: < <http://www.icmbio.gov.br/rebioarvoredo/quem-somos/historico.html> >.

A REBIO é constituída por um ambiente marinho que possui paisagens mais diversas que a região de seu entorno. Além dos costões rochosos constituintes das ilhas, destacam-se na morfologia da área, um alto batimétrico ao norte da Ilha da Galé e um pequeno vale entre a ilha do Arvoredo e a ilha Deserta. Adicionalmente, além do fundo adjacente às ilhas, são encontrados também um pequeno banco de corais e, como anteriormente mencionado, dois bancos de rodolitos (SEGAL et al., 2017; CHLUDINSKY & BONETTI, 2002)

Estudos recentes realizados através de técnicas de análise espacial demonstraram que a REBIO apresenta um alto grau de complexidade geomorfológica. Dentre os elementos que merecem destaque, além do vale citado anteriormente, está uma sucessão de cristas partindo de Bombinhas em direção à ilha da Galé, passando pela pedra Nocetti, Ilha Deserta, Ilha do Arvoredo e Calhau de São Pedro, que podem proporcionar alguma conectividade ou atuar como barreiras biogeográficas na área (PEREIRA & BONETTI, 2018).

2.2.2 Sedimentologia

A porção da plataforma continental de Santa Catarina aqui abordada encontra-se inserida na bacia sedimentar de Santos. Sua cobertura sedimentológica atual “estabeleceu-se durante a última

regressão pleistocênica cujo máximo ocorreu há cerca de 17 ka AP, quando o nível do mar atingiu aproximadamente 110-120m abaixo do atual” (ABREU; HORN FILHO, no prelo, p.18).

A sedimentologia da plataforma continental de Santa Catarina já foi descrita por diversos autores, com destaque para os trabalhos de Corrêa (1980), Gré (1989), Abreu (1998), Horn Filho (2003), Abreu & Grabowski Neto (2003) e, mais recentemente, Almeida (2008) e Bitencourt (2013).

Abreu (1998) e Horn Filho (2003) descreveram a plataforma adjacente à área na qual se insere o trecho abordado no presente estudo, como sendo constituída por areia e areia lamosa, caracterização esta que, mais recentemente, foi ampliada por Bitencourt (2013) em escala de maior detalhe. Este realizou a caracterização sedimentar da REBIO e áreas adjacentes através de dados decorrentes de 84 pontos amostrais, concluindo que a mesma é constituída por sedimentos finos, apresentando altos valores de carbonato biodetrítico. Esses resultados estão de acordo com a descrição de Abreu (1998), que explica que a área adjacente à desembocadura do Rio Tijucas é basicamente preenchida por sedimentos finos devido principalmente ao bloqueio imposto pela presença do Arquipélago do Arvoredo que atua na diminuição da hidrodinâmica da enseada, aprisionando esses sedimentos.

Por fim, a dinâmica dos processos geológicos que atuam na zona costeira é influenciada por diversos agentes da natureza, tais como direção dos ventos, correntes, ondas e marés (VIS-STAR, 2008). Estes fatores podem propiciar ou atuar como barreiras ao estabelecimento e desenvolvimento da vida, exercendo grande influência na distribuição de espécies no leito marinho (PASCELLI et al., 2013; LANARI, M. & COPERTINO, 2007), uma vez que são os principais agentes controladores dos fluxos de sedimentos, e acabam por condicionar a formação de diferentes feições de fundo (VIS-STAR, 2008).

2.3 ASPECTOS METEO-OCEANOGRÁFICOS

2.3.1 Massas D'água

Toda a área da REBIO se encontra sobre a Plataforma Continental Interna do Sul do Brasil, setor onde ocorre a interação de massas d'água de origem tropical, subtropical e subantártica. Segundo Netto Jr (2000), estas formam um ambiente bastante dinâmico e muito

produtivo do ponto de vista biológico, já que disponibilizam uma grande quantidade de nutrientes para a zona eufótica.

As massas d'água presentes na Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE) são a Água Tropical (AT), transportada para o sul pela Corrente do Brasil; Água Costeira (AC), influenciada pelo aporte continental; Água Central do Atlântico Sul (ACAS) rica em nutrientes, subjacente à Água Tropical; e a Água de Plataforma (AP), resultante da mistura da ACAS com a AT e AC sobre a Plataforma Continental (EMÍLSSON, 1960; CARVALHO et al., 1998; CASTRO et al., 2005; PEREIRA et al., 2009).

É possível descrever a distribuição das massas d'água presentes na área de estudo em dois padrões: primavera-verão e outono-inverno. Na situação primavera-verão, a coluna d'água apresenta duas camadas com termoclina acentuada na profundidade de transição entre a Água Tropical (AT) quente, e as águas frias da ACAS que ressurgem nesta época do ano devido aos ventos provenientes do quadrante norte. Já na situação outono-inverno, a coluna d'água apresenta-se de forma homogênea devido à subsidência costeira e ao aumento da magnitude e manutenção dos ventos provenientes do quadrante sul (CARVALHO et al., 1998; SEGAL et al., 2007; AMORIM, 2013; CASTRO et al., 2005; BRANDINI, 2003).

De forma específica, estudos do projeto MAArE realizados na área de estudo entre 2014 e 2016 mostraram que no verão a temperatura da coluna d'água apresentou grande amplitude, cerca de 10°C, com médias atingindo o máximo de 23,44°C. O inverno apresentou menor amplitude, cerca de 1,5°C apenas, e as temperaturas foram mais baixas, com máximo de 18,32°C e mínimo de 17,18°C.

No verão, a Água Subtropical de Plataforma (ASTP) esteve presente na região costeira às Ilhas da REBIO devido à mistura da AT com as águas provenientes do Rio Tijucas, menos salinas. Adicionalmente, ocorreu marcada estratificação vertical devido à intrusão da ACAS que constitui uma das principais fontes de nutrientes da região da REBIO, juntamente com as águas continentais provenientes do Rio Tijucas e as águas da Baía Norte da Ilha de Santa Catarina (SEGAL et al., p.93).

Já no inverno, como dito anteriormente, os ventos provenientes do quadrante sul impedem a estratificação das massas d'água e empurram para o norte águas costeiras turvas e ricas em material em suspensão características da Água da Pluma do Prata (APP). Neste período foi observada uma zona eufótica rasa, permanecendo esta em

10m, metade da profundidade observada no verão, onde a zona eufótica alcançou os 20m de profundidade (SEGAL et al., 2017).

Desta forma, a variabilidade sazonal das massas d'água na plataforma continental influencia a distribuição do material em suspensão, nutrientes e conseqüentemente a biomassa fitoplanctônica, a abundância e a composição do zooplâncton na região da REBIO (SEGAL et al., 2017).

2.3.2 Marés

Nas regiões costeiras, o nível do mar oscila continuamente devido às condicionantes oceanográficas, atmosféricas e astronômicas sobre o oceano (PUGH, 1987; TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999).

As marés são oscilações verticais periódicas do nível do mar que ocorrem principalmente devido à atração da lua e do sol sobre as massas d'água (MIGUENS, A. P., 1996).

As forças resultantes desta atração gravitacional que a lua e o sol exercem sobre a Terra geram as marés astronômicas que, na região da REBIO, provocam uma variação de aproximadamente 1m no nível do mar, o que representa um regime de micro marés. Ainda, ocorrem duas marés altas e duas marés baixas ao longo de um dia lunar (24h50min), caracterizando assim um padrão misto com predomínio semidiurno (SEGAL, et al., 2017).

Adicionalmente, a ação dos ventos em conjunto com a rotação da Terra e a pressão atmosférica podem causar o empilhamento ou abaixamento do nível do mar, fenômeno conhecido como maré meteorológica. Esse fenômeno ocorre de forma que os ventos de sul empurram as águas em direção à costa resultando em um aumento do nível do mar, enquanto que os ventos de norte causam a diminuição do nível do mar (mecanismo de transporte transversal de Ekman) (TRUCCOLO, 2011).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 GEODIVERSIDADE

A geodiversidade integra-se a conceitos mais abrangentes, como o de “paisagem”, que é compreendida como uma unidade espacial percebida ou sentida por determinado sujeito, resultante da combinação heterogênea de elementos bióticos, abióticos e socioeconômicos em diferentes escalas espaço-temporais (FORMAM & GORDON, 1986; BRITTO & FERREIRA, 2011).

O termo “geodiversidade” é relativamente recente, tendo este surgido no final da década de 1990 como uma ferramenta aplicada à gestão de espaços protegidos (NIETO, 2001; GRAY, 2004; CAÑADAS & FLAÑO, 2007). Por se tratar de um conceito novo, muitos autores têm definições distintas para abordá-lo. Alguns utilizam concepções bastante restritivas, que definem geodiversidade como “a diversidade dos elementos geológicos” (CAÑADAS & FLAÑO, 2007), enquanto outros autores são mais abrangentes, como Brilha (2005) que, em seu livro “Patrimônio Geológico e Geoconservação”, adota o conceito proposto pela *Royal Society for Nature Conservation*: “A geodiversidade consiste na variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra”.

No Brasil, o desenvolvimento do conceito de geodiversidade se deu em paralelo às comunidades internacionais, e importantes órgãos nacionais estabeleceram suas definições, como é o caso da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Esta utiliza uma definição muito parecida com a de Brilha (2005), complementando que a geodiversidade possui como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (SILVA, 2008).

Estudos voltados à geodiversidade vêm sendo aplicados principalmente em áreas continentais, com pesquisas voltadas à prevenção de desastres naturais, levantamentos geológicos, obras de engenharia, instrumentos de planejamento, gestão, ordenamento espacial, entre outros (SILVA, 2008). Os trabalhos de Brooks et al. (2011) foram os primeiros envolvendo áreas essencialmente marinhas e, no Brasil, estudos desta natureza ainda são escassos.

3.1.1 Geodiversidade Marinha

A geodiversidade marinha consiste na caracterização ambiental das particularidades do meio físico que condicionam a dinâmica da paisagem e controlam em ampla escala a distribuição dos organismos (MUSSI, 2017).

Segundo Roff & Taylor (2000), as variáveis abióticas utilizadas para descrever a geodiversidade marinha podem ser divididas em dois grupos: de descritores oceanográficos e fisiográficos. Dentre os descritores oceanográficos temos a temperatura, as correntes marinhas, a salinidade, luminosidade da coluna d'água, variações de maré e a ação de ondas e nutrientes presentes na coluna d'água. Já os descritores fisiográficos são representados pela profundidade, os movimentos tectônicos, o tipo de substrato geológico e a geomorfologia de fundo.

3.2 GEOACÚSTICA

Os métodos geofísicos são conhecidos por serem métodos indiretos de investigação, ou seja, são métodos não destrutivos. Neste contexto, segundo Souza (2006, p. 14), apresentam uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais (diretos), principalmente por que:

- Permitem a observação contínua da superfície e subsuperfície de fundo (a depender do método utilizado), ao longo de um perfil, ao contrário de sondagens, amostragens, testemunhagens que constituem métodos de investigação comumente pontuais;
- Tornam viável a rápida observação de grandes áreas, já que a aquisição de dados é realizada a partir de uma embarcação que desliza sobre a superfície d'água em velocidades a partir de 6 km/h, a depender do equipamento utilizado;
- Constituem métodos não destrutivos, ou seja, as observações realizadas por meio de métodos geofísicos não

causam qualquer dano ao ambiente investigado.

O presente trabalho tem por base dados obtidos por métodos acústicos de imageamento que utilizam o princípio da propagação de ondas acústicas na coluna d'água. Estes podem ser divididos basicamente em duas categorias: os multifeixes “tradicionais” (*Multibeam echo sounders* - MBES), e os sistemas diferenciadores de fase, ou sistemas interferométricos (*Phase Differencing Bathymetric Sonar* - PDBS).

Estes métodos baseiam-se na emissão e no retorno de ondas acústicas ao equipamento, o que acontece graças à reflexão do som nas interfaces entre meios com diferentes propriedades físicas (SOUZA, 2006). A reflexão do sinal emitido ocorre quando o caminho que o som percorre na água é interrompido por uma mudança repentina no meio (normalmente o leito marinho). Quando isso ocorre, o sinal é então parcialmente absorvido, refletido e espalhado, e a forma como isto acontece depende de fatores como a impedância acústica do novo meio, a rugosidade dele e, também, do ângulo de incidência do sinal.

No sistema PDBS aqui utilizado, o equipamento é composto por um arranjo de dois transdutores direcionados cada um para um lado. Estes transdutores são compostos por um transmissor e dois ou mais receptores posicionados paralelamente ao transmissor, com pequenas diferenças de inclinação entre si. Assim, o sinal que chega em cada receptor terá uma diferença temporal associada (diferença de fase). Através de técnicas de processamento de sinal, estas diferenças de fases são utilizadas para calcular o ângulo entre o sinal recebido e o transmissor, bem como o tempo de ida e volta deste sinal. Combinando essas informações, tem-se a localização dos pontos em superfície (profundidade) e a intensidade de retorno do sinal (GOSTNELL, 2005; BRISSON; WOLFE; STALEY, 2014; DODD, 2015).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado um interferômetro EDGE TECH 4600. O mesmo é operado na frequência de 540 kHz, sendo as frequências desta ordem utilizadas preferencialmente em águas rasas (caso do presente estudo), fornecendo assim melhor resolução angular e baixo poder de penetração (EDGETECH, 2012).

A Figura 5 exemplifica o sistema de funcionamento do equipamento utilizado neste trabalho. O mesmo possui um transdutor

emissor e oito transdutores de recepção de sinal de cada lado (EDGETECH, 2012).

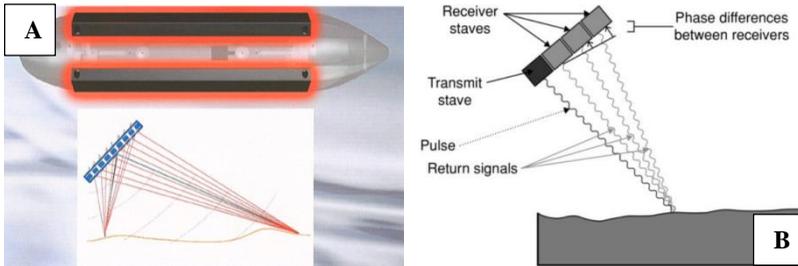


Figura 5 (A): Composição de transdutores do EdgeTech 4600. Fonte: EdgeTech (2011). (B): Sistema interferométrico e seu funcionamento. Adaptado de Eleftheriou (2013).

Dentre as vantagens apresentadas pelos interferômetros, podemos destacar a ampla cobertura (até 12x a profundidade), aumentando a eficiência na aquisição dos dados (Figura 6), e o fato de aquisitarem simultaneamente dados de batimetria (com retroespalhamento associado) e de sonar de varredura lateral (BRISSEON & WOLFE, 2014; DODD, 2015).

Em contrapartida, ente equipamento demonstra problemas quando recebe sinais de direções diferentes ao mesmo tempo, como aqueles sinais provenientes do nadir. Adicionalmente, os dois sistemas (MBES e PDBS) apresentam distorções nos feixes externos devido às incertezas quanto à velocidade de propagação do som na água (GOSTNELL, 2005; DODD, 2015).

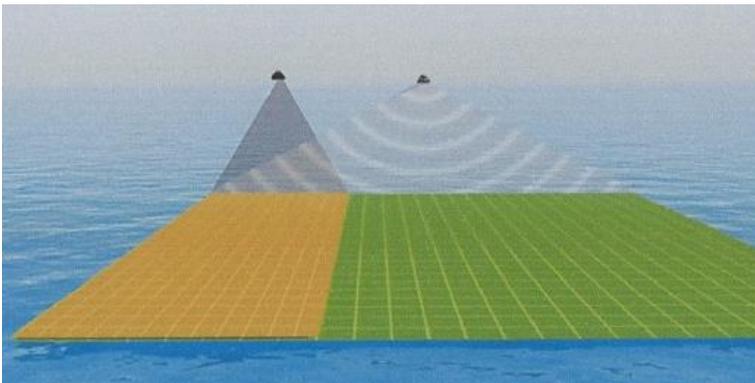


Figura 6 MBES x PDBS - aquisição de dados em águas rasas (DODD, 2015).

3.2.1 Batimetria de varredura

A batimetria constitui-se basicamente de informações sobre a profundidade local. Sua determinação ocorre, como mencionado anteriormente, a partir da emissão de ondas acústicas que percorrem a coluna d'água em velocidades que variam com a salinidade, temperatura e pressão do meio. Dentre estes parâmetros, no geral a variação da temperatura é a que mais influencia a velocidade de propagação do som. Contudo, com o aumento da profundidade, a coluna d'água torna-se relativamente isoterma com salinidade constante, passando então a pressão ser mais importante na alteração da propagação do som na água (BLONDEL, 2009).

A utilização de sistemas batimétricos de varredura aplica-se em diversos estudos, aos quais se destacam a observação das características morfológicas de fundo. Comumente busca-se a identificação de afloramentos rochosos, estruturas de superfície e existência de canais, sendo os estudos desta natureza largamente empregados em portos e hidrovias.

3.2.2 Sonar de varredura lateral (SVL)

Os Sonares de Varredura Lateral (SVL) são capazes de registrar dois tipos de informações: a geometria dos alvos presentes na superfície de fundo e a refletividade dos mesmos através do retorno do sinal emitido com correções de ruídos e atenuações (BLONDEL, 2009; LURTON & LAMARCHE, 2015, p. 14;).

O pulso sonoro emitido retorna ao equipamento devido aos mecanismos de reflexão e de retroespalhamento, de forma que a incidência de uma onda sonora sobre uma superfície rugosa sofre três efeitos: parte da onda é transmitida ao substrato, parte é refletida de forma especular (ângulo de incidência igual ao ângulo de retorno do sinal) e outra parte é espalhada pela rugosidade da superfície, e irá se propagar para outras direções de acordo com a distribuição geométrica da rugosidade (Figura 7A) (MAZEL, 1985; RISTOW, 2015).

Desta forma, o campo acústico gerado na água será a soma dos efeitos de reflexão especular e espalhamento (Figura 7B). A quantidade de energia refletida especularmente depende do tipo de substrato que compõe o fundo, enquanto que a energia espalhada depende essencialmente da forma do fundo (RISTOW, 2015).

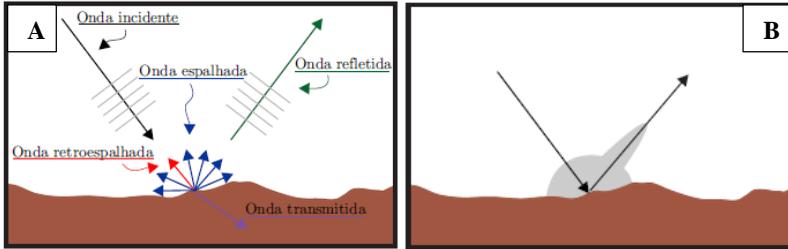


Figura 7 (A): Comportamento de uma onda incidente em uma superfície rugosa. (B): Campo acústico gerado na água. Fonte: Ristow (2015, p.70).

Quanto à intensidade do som que retorna ao equipamento, há a dependência da rugosidade do fundo e do ângulo de incidência. Quanto mais rugoso e menor o ângulo de incidência, maior intensidade terá o sinal de retorno (MAZEL, 1985; SOUZA, 2006; BLONDEL, 2009).

Os dados desta natureza são comumente aplicados em projetos de mapeamento do leito marinho, identificação indireta dos tipos de sedimento que compõe o leito e identificação de objetos e feições submersas (TESSLER & SOUZA, 1998; VERONEZ JÚNIOR et al., 2009; BLONDEL, 2009; SILVA, 2010).

3.2.3 Retroespalhamento (*backscatter*)

A onda espalhada tem como principal característica, o fato de possuir menor amplitude que a reflexão especular e ocorrer em uma ampla faixa de direções. A parcela de energia que retorna ao equipamento na mesma direção em que foi emitida, é denominada força de retroespalhamento, calculada em dB (decibéis) (RISTOW, 2015).

Os registros de retroespalhamento podem ser utilizados para confirmação das informações obtidas pelo sonar de varredura lateral e, além disso, muitos estudos relacionam o retroespalhamento às características texturais do substrato, como será apresentado no tópico a seguir.

3.2.4 Relação entre retroespalhamento e as características texturais dos sedimentos

Os dados de retroespalhamento são amplamente utilizados para a identificação indireta das características texturais e de rugosidade do

fundo. Adicionalmente, são empregados também no fornecimento de informações relacionadas à fauna, flora e na biodiversidade como um todo (MICALLEF et al., 2012; LURTON & LAMARCHE, 2015; SAMSUDIN & HASAN, 2017).

Com base no exposto acima, a intensidade do som que retorna ao equipamento depende da rugosidade do fundo e do ângulo de incidência do sinal. Sedimentos finos como silte e argila tendem a ter baixa rugosidade e produzem uma resposta menos intensa que sedimentos grossos. Estes, por serem mais rugosos, acabam por gerar um sinal de retorno mais intenso, como observado nos trabalhos de Kostylev et al., (2001); Dartnell & Gardner (2004); Collier & Brown (2005) e Kagesten (2008).

4 METODOLOGIA

4.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

4.1.1 Dados geoacústicos

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos no segundo semestre de 2013 em uma campanha de coletas da rede INCT-Mar “Centro de Oceanografia Operacional” (CNPq), apoiada pelo projeto “Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudo de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno” (MMA). Para tal, conforme já assinalado, foi utilizado um interferômetro EdgeTech 4600 com frequência de 540kHz instalado em uma embarcação de pequeno porte.

Para a realização do levantamento hidrográfico foram utilizados alguns equipamentos complementares, a saber:

- De forma a garantir a necessária precisão frente ao posicionamento geográfico e rumo da embarcação, foi utilizado um Sistema de Posicionamento Geográfico Diferencial (DGPS) Novatel – modelo FlexPack6, composto por duas antenas instaladas na parte superior da embarcação;

- Para a correção das movimentações dinâmicas do barco (movimento vertical: *heave*, movimento lateral: *roll* e movimento da proa/popa: *pitch*), foi utilizada uma unidade de referência de movimentos (MRU) da marca *Ship Motion Control (SMC)* – modelo IMU 108, instalada no centro de massa do barco;

- A velocidade do som na água foi medida por um perfilador de velocidade do som (SVP) Odom – modelo Digibar S;

Por fim, os dados de maré foram aquisitados por uma marégrafo Ohmex – modelo Tide M8 instalado na Ilha do Arvoredo (posição 6978039.97m S e 761302.94m E – UTM, zona 22S). O nível de redução utilizado foi estabelecido através de estudos realizados e cedidos pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) da UFSC.

Para a realização do levantamento hidrográfico, utilizou-se o sistema de referência de coordenadas planas – Projeção UTM e DATUM WGS84, sendo os dados batimétricos adquiridos com o programa Hypack e os dados sonográficos com o programa Discover.

As linhas navegadas foram planejadas de forma a se obter 100% de cobertura do fundo, com abertura de feixe de 80m, cobrindo uma área de aproximadamente 1.720,000m² (Figura 8).

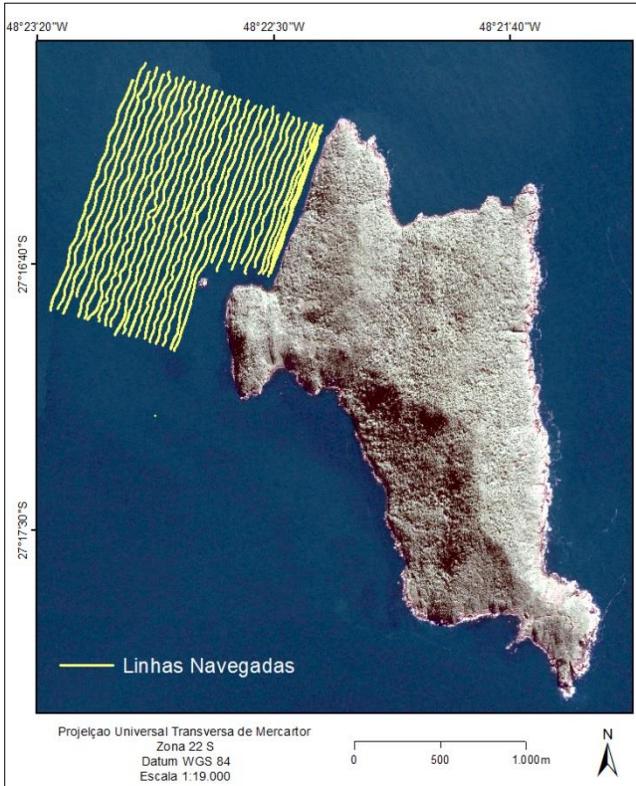


Figura 8 Disposição das linhas navegadas durante o levantamento hidrográfico.

Ao iniciar o levantamento hidrográfico, foi realizado o *patch test* para calibrar os equipamentos. Este consiste na determinação dos desvios em *roll*, *pitch* e *yaw* para o transdutor e para o MRU e na latência do sistema de posicionamento.

De forma simplificada, a latência é a diferença em tempo entre o posicionamento e a determinação da profundidade; o *pitch* e o *yaw* referem-se aos movimentos verticais e horizontais (respectivamente) de proa/popa, enquanto o *roll* relaciona-se aos movimentos laterais da embarcação (boreste e bombordo) (Figura 9).

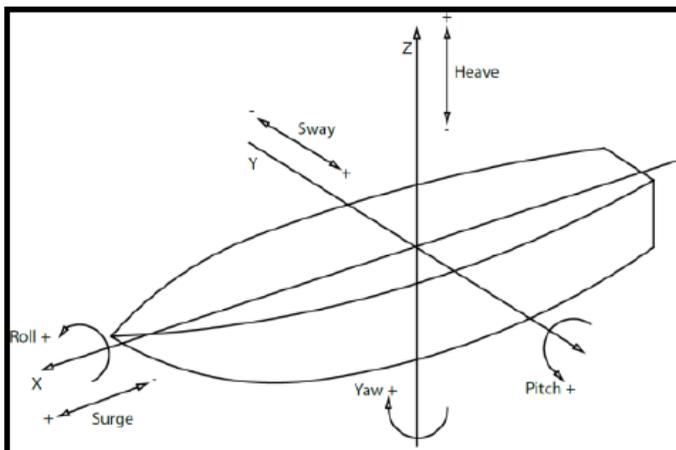


Figura 9 Movimentos de uma embarcação. (Fonte: PORPILHO, 2015).

4.1.2 Dados sedimentológicos

Os dados sedimentológicos foram coletados no dia 07 de abril de 2017. Para a coleta das amostras, o barco foi fundeado no “ponto de fundeio” (Figura 10) de coordenadas 759664.00m E e 6980123.00m S, onde foram obtidas três amostras (P-1, P-2 e P-3) através de um amostrador do tipo busca-fundo (*van veen*) (Figura 11).

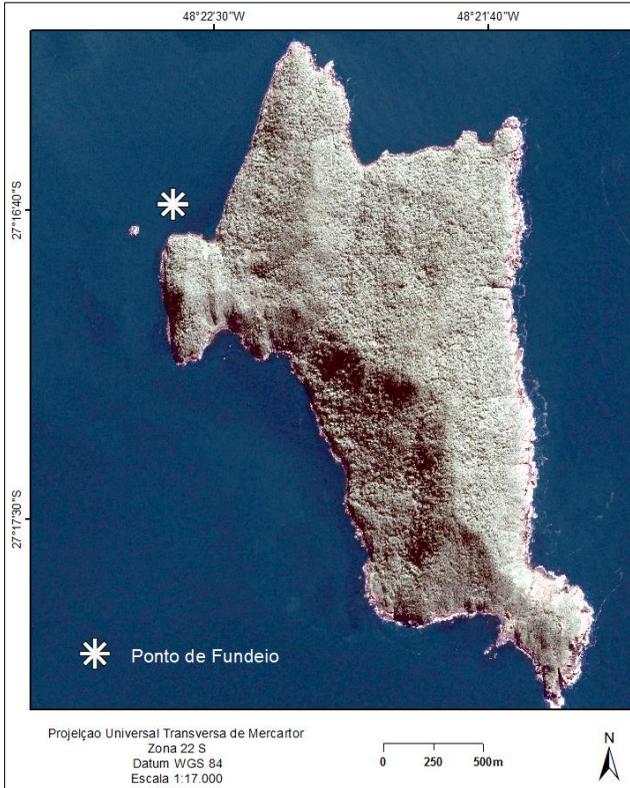


Figura 10 Localização do ponto de fundeio do barco para coleta das amostras sedimentares.

Devido à presença dos nódulos calcários (rodolitos), o amostrador não foi eficiente na coleta do sedimento uma vez que os nódulos impediram o completo fechamento do equipamento, deixando escapar boa parte do material. Desta maneira, optou-se por realizar o restante das amostragens através de mergulho.



Figura 11 Amostrador de fundo do tipo *van veen* utilizado para coleta. É possível observar a presença de rodolitos no amostrador.

Não foi possível precisar a localização das amostras obtidas através de mergulho autônomo, mas estas foram realizadas em um raio de aproximadamente 200m do ponto de fundeio, sendo:

- Três amostras em cima do banco de rodolitos: amostras ROD-01, ROD-02 e ROD-03 (Figura 12);



Figura 12 (A): Localização do ponto de fundeio e área de coleta das amostras ROD-01, ROD-02 e ROD-03 em cima do banco de rodolitos. (B): Registro fotográfico realizado no momento da coleta com destaque para o banco de rodolitos ao fundo.

- Três amostras em cima da plataforma arenosa adjacente ao costão da Ilha do Arvoredo: amostras Areia-1, Areia-2 e Areia-3 (Figura 13).



Figura 13 (A): Localização do ponto de fundeio e área de coleta das amostras Areia-1, Areia-2 e Areia-3 em cima da plataforma arenosa adjacente à Ilha do Arvoredo. (B): Registro fotográfico realizado no momento da coleta com destaque para a plataforma arenosa ao fundo.

As nove amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e armazenadas em freezer no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) – UFSC.

4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados pode ser dividido em cinco etapas principais, sendo elas: processamento dos dados batimétricos, de retroespalhamento, sonográficos, análise sedimentológica e elaboração do mapa síntese da geodiversidade.

Para cada processamento foi empregada uma metodologia diferente que será detalhada a seguir.

4.2.1 Processamento dos dados batimétricos

Os dados de batimetria foram processados no *software* CARIS HIPS&SIPS 8.1, conforme fluxograma apresentado na Figura 14.

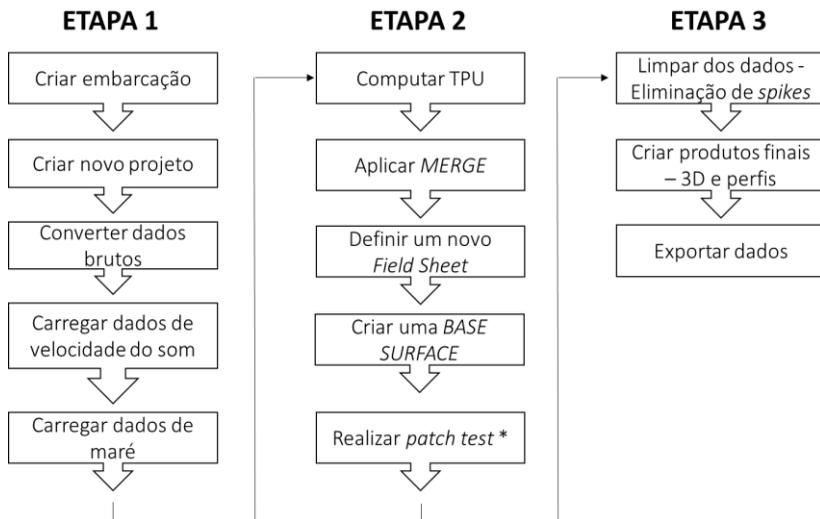


Figura 14 Fluxograma para processamento de dados batimétricos no software CARIS HIPS&SIPS 8.1.

1. A primeira etapa consiste na criação do projeto e carregamento dos dados brutos, de forma que:

Inicialmente é necessário criar uma embarcação, onde devem ser adicionados todos os dados de *offsets*, *patch test* e a data de realização do levantamento. Feito isso, é possível então criar o projeto e definir o sistema de referência de coordenadas.

Os dados batimétricos brutos, por terem sido aquisitados pelo programa Hypack/Hyseep possuem a extensão .HSX e devem ser convertidos para o formato HIPS and SIPS através do menu de importação de dados do CARIS.

O passo seguinte é carregar os arquivos de velocidade do som e de maré: o programa aplica a velocidade de propagação do som na água para aumentar a precisão dos dados e a maré é utilizada para gerar as profundidades finais (os valores de maré são compensados nos valores brutos).

2. Uma vez que os dados brutos e as devidas correções foram carregadas é necessário aplicar efetivamente essas correções aos dados.

Para isto, deve ser calculada a incerteza total propagada (*Total Propagated Uncertainty – TPU*) que é derivada de uma combinação de

fontes de erros, como: erros de *patch test*, incerteza derivada dos sensores de posicionamento, maré, dentre outras. Este comando aplica as correções horizontais e de profundidade para cada ponto coletado.

O próximo passo é realizar o *merge*, procedimento que tem como resultado dados georreferenciados e corrigidos.

A definição de um *Field Sheet* consiste basicamente em delimitar a área que será trabalhada. Para isto, basta usar a ferramenta “*new field sheet*” e, com o *mouse*, desenhar a delimitação (retângulo) da área.

Feito isso, é possível gerar uma *BASE (Bathymetry Associated whit Statistical Error) Surface* dentro do *Field Sheet*, ou seja, uma “imagem” georreferenciada contendo os dados batimétricos brutos. É a representação visual dos dados (Figura 15).

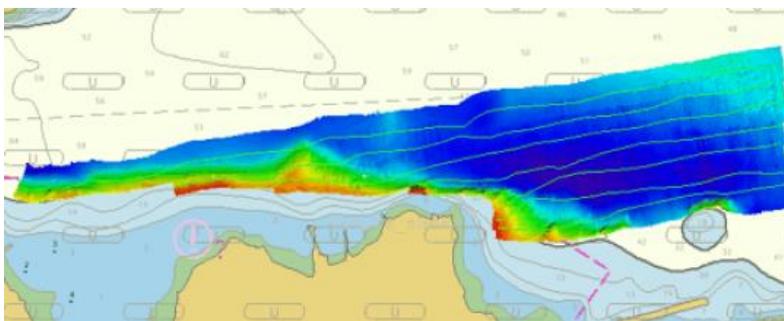


Figura 15 Exemplo de *BASE Surface*. Fonte: manual do usuário do programa CARIS. p 188.

Esta base é usada para diversos fins, sendo os aqui empregados:

- Servir como plano de fundo para editar de forma mais interativa os dados;
- Criar uma imagem TIFF da batimetria que pode ser exportada para outros programas (como o ArcGIS para elaboração de um mapa final);
- Gerar um arquivo de texto contendo dados XYZ;

O passo seguinte não faz parte do processamento usual de dados batimétricos no CARIS. Contudo, devido a problemas no armazenamento dos dados do *patch test*, foi necessário realizar a calibração do equipamento/sensores antes de prosseguir com o processamento.

Para tal, foi utilizada a ferramenta *calibration*, que consiste em comparar pares de linhas de acordo com as especificações necessárias para cada sensor, conforme especificado a seguir:

- *Latência*: realizado em duas linhas coincidentes (com a mesma direção) navegadas em diferentes velocidades sobre um talude ou objeto bem definido;
- *Pitch*: realizado em duas linhas coincidentes (em direções opostas) navegadas à mesma velocidade sobre um talude ou objeto bem definido;
- *Yaw*: realizado em duas linhas paralelas (em direções opostas) sobre um talude ou objeto bem definido de forma que os feixes externos das duas linhas se cruzem sobre o objeto;
- *Roll*: realizado em 3 linhas com deslocamento equivalente à metade da abertura dos feixes (a linha do meio deve ter direção oposta às demais) sobre uma área plana (CARIS, 2013).

Cada sensor é calibrado separadamente, e a execução desta etapa foi crucial para o ajuste das linhas. Feito isto, o processamento usual foi retomado:

3. Com a *BASE surface* criada, inicia-se a etapa de limpeza dos dados. Para tal, foi utilizada a ferramenta *subset editor*.

Nesta etapa, é necessário criar um retângulo na *BASE* que delimite a área a ser trabalhada. Assim, as linhas podem ser vistas lado a lado facilitando a edição (Figura 16).

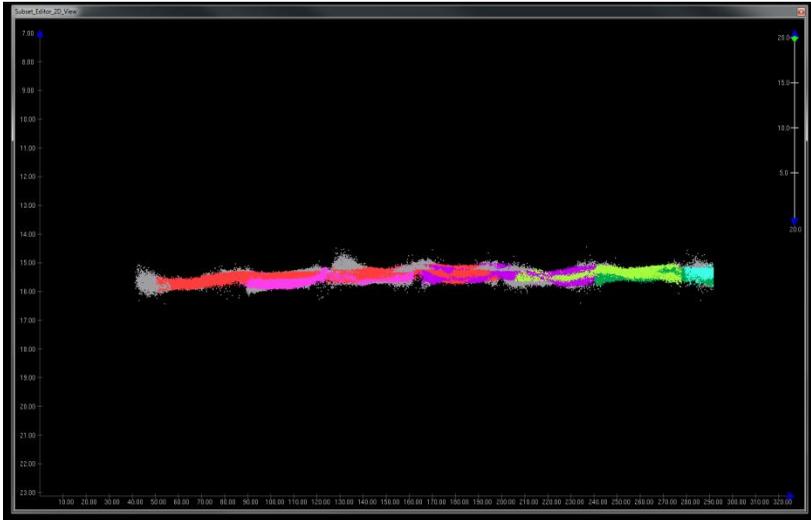


Figura 16 Tela de edição das linhas no CARIS. Em cinza temos a representação dos dados brutos enquanto que as nuvens de pontos coloridas são os dados remanescentes à eliminação de pontos dispersos.

Feita a limpeza, são gerados os produtos finais, sendo o modelo 3D elaborado através da ferramenta *3D view*, e os perfis batimétricos através da ferramenta *profile*.

Por fim, os dados podem ser exportados em diferentes formatos, sendo os aqui usados: arquivo de texto XYZ e ESRI ASCII Grid.

4.2.2 Processamento dos dados de retroespalhamento (*backscatter*)

Assim como a batimetria, o retroespalhamento (associada à esta) também foi processado no *software* CARIS HIPS&SIPS 8.1 e seguiu os passos constantes no fluxograma apresentado na Figura 17.

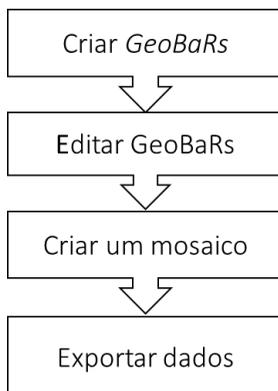


Figura 17 Fluxograma para processamento de dados de retroespalhamento no software CARIS.

O processamento dos dados de retroespalhamento ocorre a partir da *BASE Surface* gerada no processamento batimétrico. Desta forma, o primeiro passo é criar um GeoBaR (*Georeferenced Backscatter Raster*) para cada linha. Todo o procedimento aqui descrito foi executado através da ferramenta *mosaic editor*.

Com todos os GeoBaRs abertos, inicia-se a edição dos mesmos. Nesta etapa é possível realizar ajustes de brilho, contraste e ordem de visibilidade de cada imagem (Figura 18). Para cada linha foram aplicados valores diferentes de brilho e contraste, buscando sempre ressaltar as diferenças de intensidade presente nos registros.

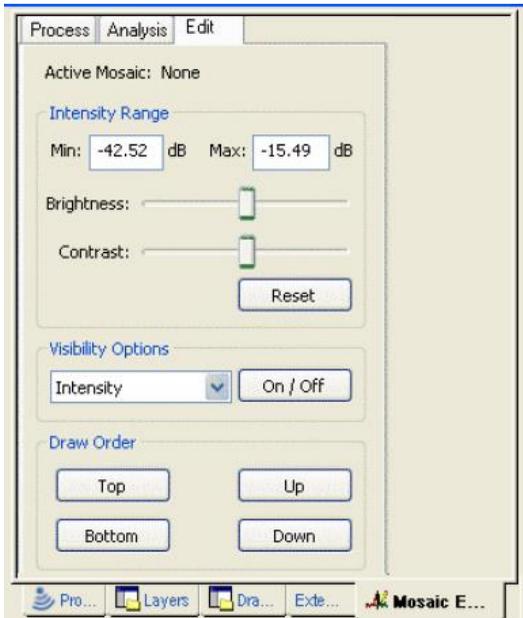


Figura 18 Tela de edição dos GeoBaRs no software CARIS.

Após a edição de todas as linhas, é criado um mosaico e os dados são exportados no formato TIFF e XYI (latitude, longitude e intensidade).

4.2.3 Processamento dos dados sonográficos

Para o processamento dos dados sonográficos, foi utilizado o *software* SonarWiz conforme as etapas listadas na Figura 19.

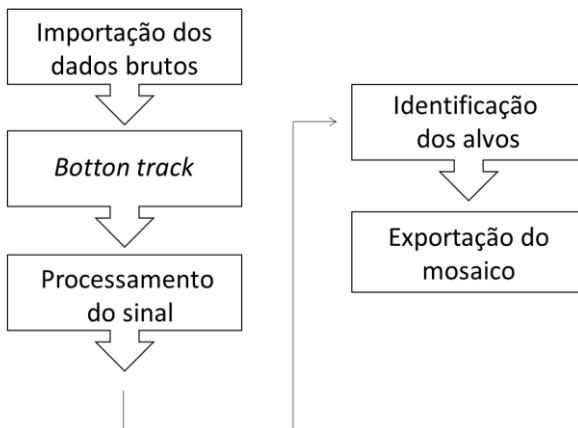


Figura 19 Fluxograma para processamento de dados sonográficos no software SonarWiz.

1. Inicialmente deve ser criado um novo projeto e definido o sistema de referência de coordenadas a ser utilizado (Datum WGS84 Zona 22S).

2. Os dados brutos são importados e inicia-se, então, a edição das linhas.

Nesta etapa é realizado o *bottom track* - procedimento que permite a melhor determinação do fundo - e a aplicação de ganhos (processamento do sinal) em todas as linhas.

Para a aplicação dos ganhos, os filtros disponíveis no programa foram testados e, após uma análise detalhada de suas respostas, foi escolhido o filtro *Time Varied Gain (TVG)*. Este filtro busca multiplicar as amostras por um valor de ganho que aumenta com o tempo decorrido a partir do pulso de transmissão, ou seja, é aplicado de forma logarítmica a fim de garantir que os dados constantes na borda dos feixes (onde o sinal é mais fraco) sejam multiplicados por valores maiores que aqueles dados próximos ao nadir, onde a intensidade do sinal é maior.

3. Uma vez que o *bottom track* foi realizado e os ganhos aplicados, inicia-se a etapa de identificação dos alvos existentes para posterior exportação do mosaico completo.

Nesta etapa é importante salientar que a avaliação dos dados sonográficos estará aliada à interpretação conjunta dos dados de retroespalhamento. Este procedimento visa a confirmação dos

resultados, já que fornece uma maior confiabilidade na afirmação sobre a presença de diferentes tipos de sedimentos/alvos (PORPILHO, 2015).

4. Após a identificação de todos os alvos, o mosaico foi exportado em arquivos GeoTIFF.

4.2.4 Análise sedimentológica

Todo o procedimento de análise sedimentológica foi realizado no LOC-UFSC.

Inicialmente as amostras brutas foram fotografadas em um microscópio Zeiss AXIO ZOOM V16 (Figura 20A). Para isto, foram lavadas previamente com água para a retirada dos sais e secas em uma estufa (Figura 20B) a 160°C por três dias.

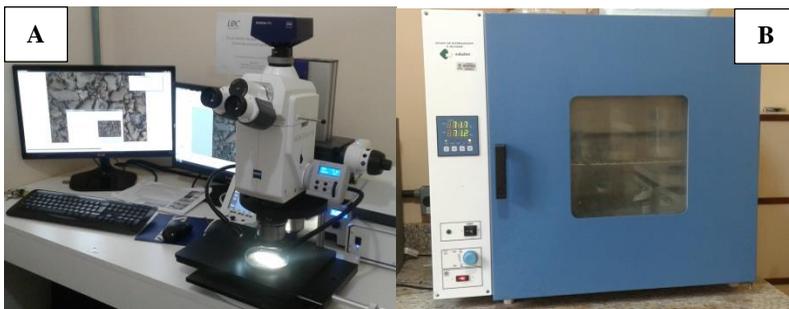


Figura 20 (A): Microscópio Zeiss AXIO ZOOM V16 utilizado para fotografar as amostras. (B): Estufa utilizada para a secagem.

Para a análise granulométrica foi utilizado o analisador de tamanho de partículas HORIBA LA-950, que utiliza a técnica de difração da luz (*laser* e LED). Esta técnica baseia-se na relação entre o tamanho das partículas e a intensidade e o ângulo de dispersão da luz, ou seja, o equipamento não mede diretamente o tamanho das partículas, mas sim o ângulo e a intensidade da luz retroespalhada pelas amostras. Esta informação então passa por um algoritmo que as correlaciona com os tamanhos das partículas.

Para a realização da análise as amostras foram quarteadas, peneiradas a 2mm (limite de detecção do equipamento) e pesadas (peso da porção <2mm e peso da porção >2mm). Feito isto, aproximadamente 5g das amostras menores que 2mm foi utilizada para a análise

granulométrica no HORIBA, uma vez que o equipamento não permite a utilização de sedimentos com granulometria maior.

Após esta análise foi realizada a eliminação do carbonato biodetrítico das amostras através da adição de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 15%. Após toda a eliminação, as amostras foram secas e pesadas novamente a fim de se obter a porcentagem de carbonato biodetrítico presente.

Por fim, foi realizada uma nova análise no Horiba, e foram então calculados os parâmetros estatísticos de acordo com o método gráfico de Folk e Ward (1957).

4.2.5 Mapa síntese da geodiversidade

O mapa síntese da geodiversidade foi elaborado no *software* ArcGIS.

Para tal, foi realizada uma análise integrada dos resultados obtidos ao longo do trabalho. Procurou-se espacializar os dados de forma a garantir a melhor visualização e entendimento a cerca das informações obtidas, visando representar a geodiversidade da área.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BATIMETRIA

Os dados batimétricos mostraram que a profundidade da área de estudo varia de 0 a aproximadamente 26m com isóbatas apresentando-se paralelas ao costão da Ilha do Arvoredo (Figura 21). Após os 18m de profundidade inicia-se um canal que recobre o centro da área. Este possui formato de “V”, com aproximadamente 1,2km de extensão em sua porção mais larga (norte) e 150m em sua porção mais estreita (sul).

Ao longo deste canal é possível observar três depressões onde ocorrem as maiores profundidades registradas. A primeira no limite nordeste da área (Figura 22A - círculo vermelho), a segunda ao centro da mesma (Figura 22A - círculo amarelo) e a terceira já na porção mais estreita do canal (Figura 22A - círculo verde).

Outra característica morfológica diz respeito aos dois afloramentos rochosos encontrados. O primeiro, no trecho sudeste, compõe o Parcel do Boi (afloramento emerso) (Figura 22B - círculo vermelho) enquanto que o segundo - esse menor que o primeiro, não emerso - pode ser observado na porção centro-sul (Figura 22B - círculo amarelo).

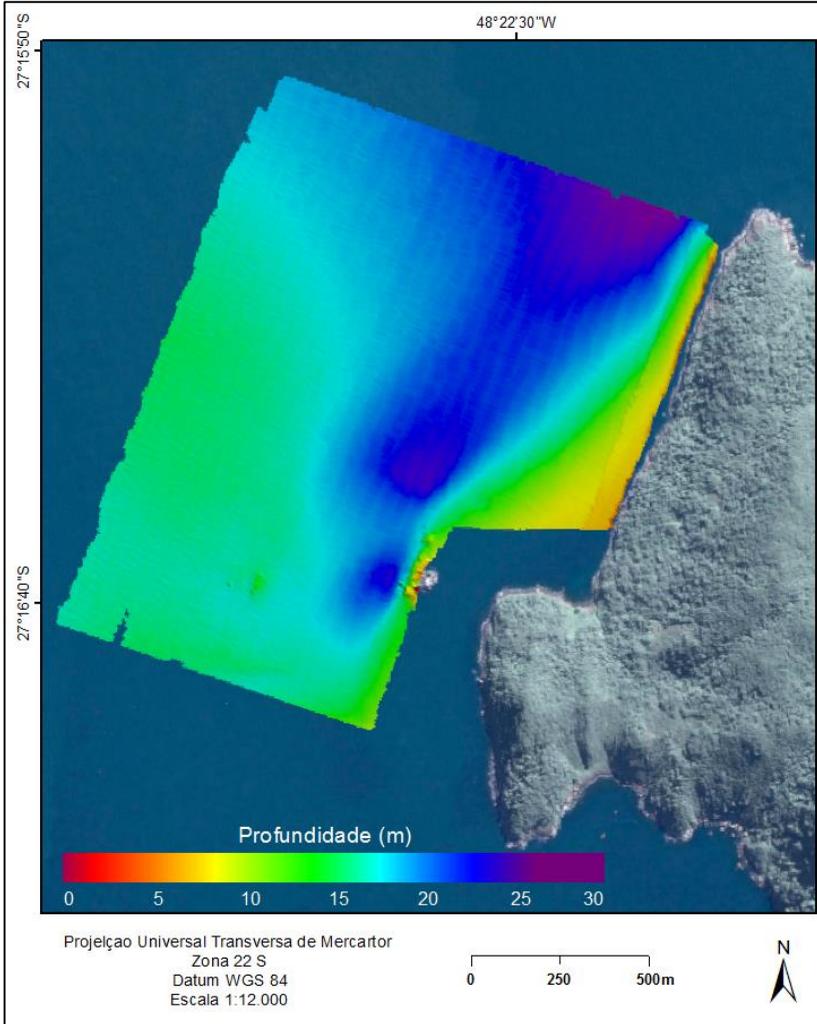


Figura 21 Mapa batimétrico. Base: Imagem obtida no Google Earth PRO - data 30/06/2009.

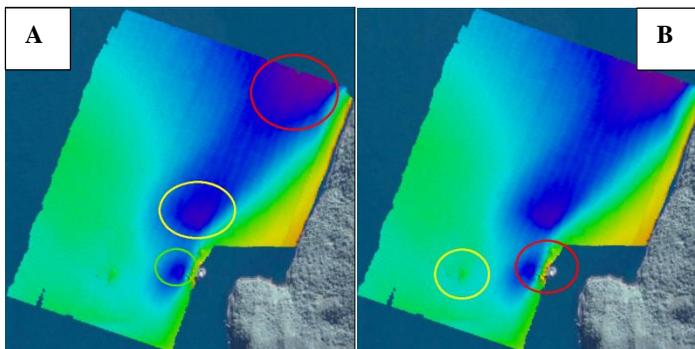


Figura 22 Batimetria da área de estudo. (A): Destaque para as três áreas onde ocorrem as maiores profundidades observadas. (B): Destaque para os dois afloramentos rochosos.

Os dados constantes na figura 23 foram reprocessados de Bitencourt (2013), visando a contextualização da área de estudo em um contexto mais amplo. A partir destes é possível observar a distribuição das isóbatas da enseada de Tijucas e áreas adjacentes.

Abreu (1998) observou que nesta área, as isóbatas são influenciadas pelo deságue do Rio Tijucas, responsável por um grande aporte de sedimentos finos para a enseada. Estes sedimentos ficam ali aprisionados, uma vez que as ilhas do Arvoredo, Galé e Deserta formam uma barreira à sua dispersão, suavizando, então, os contornos batimétricos entre as ilhas e o continente. Em afirmação a isto, é possível observar uma faixa de menor profundidade perpendicular à desembocadura do Rio Tijucas, chegando esta até a Ilha do Arvoredo. Já a leste do arquipélago, o aporte sedimentar é reduzido, resultando assim em um incremento do gradiente batimétrico. Esta distribuição das isóbatas também foi descrita nos estudos de Chludinsky e Bonetti (2002).

É possível relacionar o canal aqui descrito à área onde ocorre o aumento da declividade na plataforma continental interna como descrito por Abreu (1998) e demais autores citados acima. Na figura 23 em detalhe, é possível observar que muito próximo à Ilha do Arvoredo, na porção NW, as isóbatas de 20 e 25 metros apresentam-se em “V”, bem como apresentado na distribuição batimétrica da figura 21.

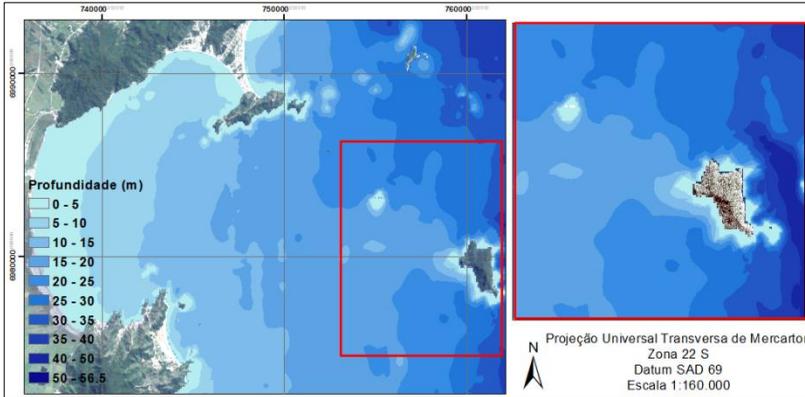


Figura 23 Batimetria da enseada de Tijuca e áreas adjacentes. Fonte: modificado de Bitencourt (2013).

Através dos perfis ilustrados nas figuras 24 a 29, a morfologia da área fica mais evidente (perfis desenhados no sentido SE-NO).

A maior variação batimétrica encontrada ocorre na região norte do mosaico onde, ao se percorrer 200m no sentido SE-NO, chega-se a uma profundidade de aproximadamente 26m (relacionada à primeira depressão citada anteriormente) (Figura 24). Já nos perfis seguintes é possível observar que declividade torna-se mais sutil (Figura 25, 26 e 27).

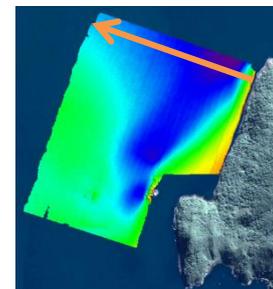
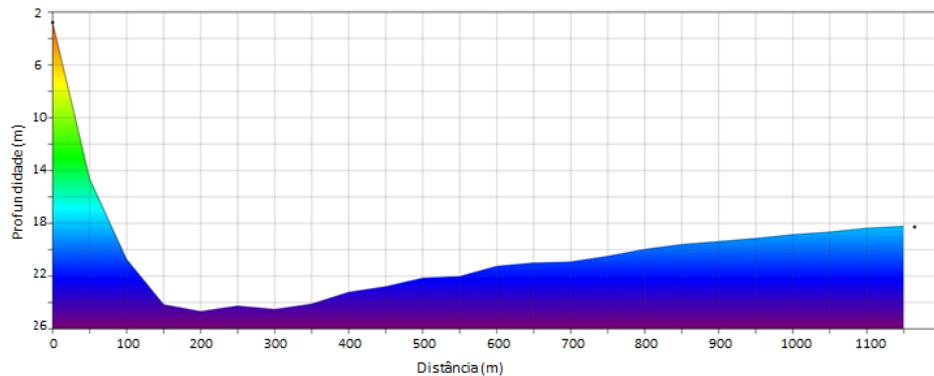


Figura 24 Perfil evidenciando a maior variação batimétrica e a área mais profunda encontrada.

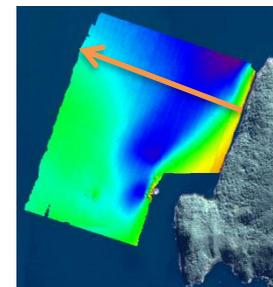
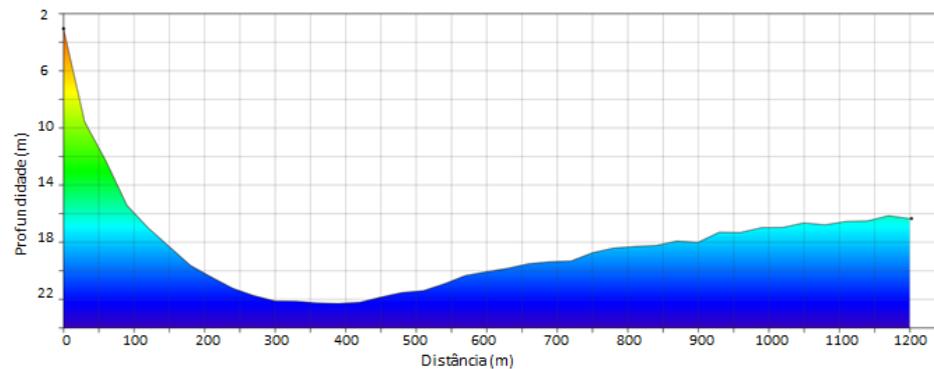


Figura 25 Perfil batimétrico evidenciando o canal presente na área.

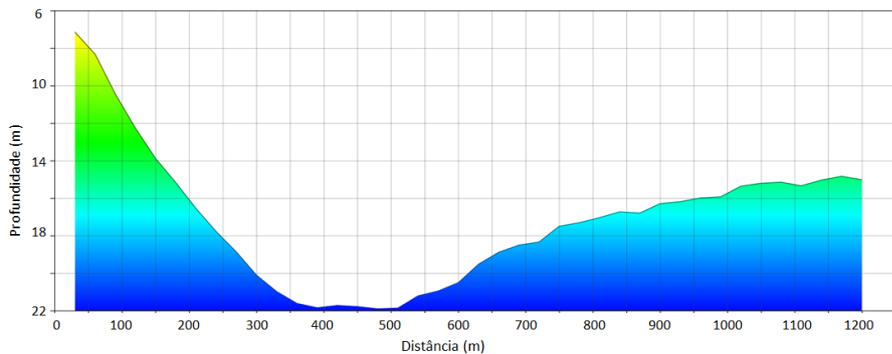


Figura 26 Perfil batimétrico evidenciando o canal presente na área.

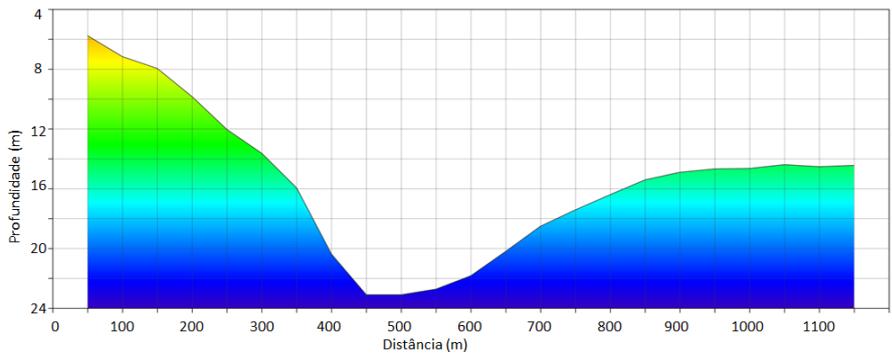
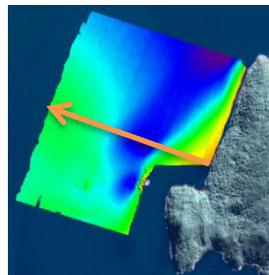
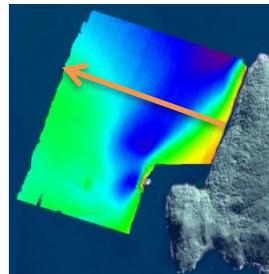


Figura 27 Perfil batimétrico evidenciando a depressão existente no centro do mosaico



No último perfil apresentado (Figura 29), ficam evidentes as duas principais características morfológicas encontradas na área de estudo: o início do canal e um dos afloramentos rochosos.

Este perfil inicia-se com uma queda acentuada de profundidade, chegando aos 19,3m em 150m de distância, porção correspondente ao início do canal. Logo em seguida, a cerca de 200m de distância da porção mais profunda deste perfil, observa-se o ponto mais alto do afloramento rochoso submerso, que chega aos 13,5m. Ocorre, portanto, uma variação de aproximadamente 6m entre o fundo do canal e o topo do afloramento.

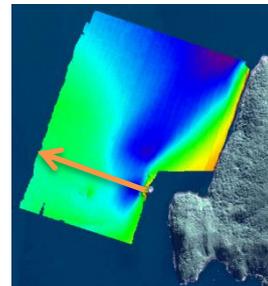
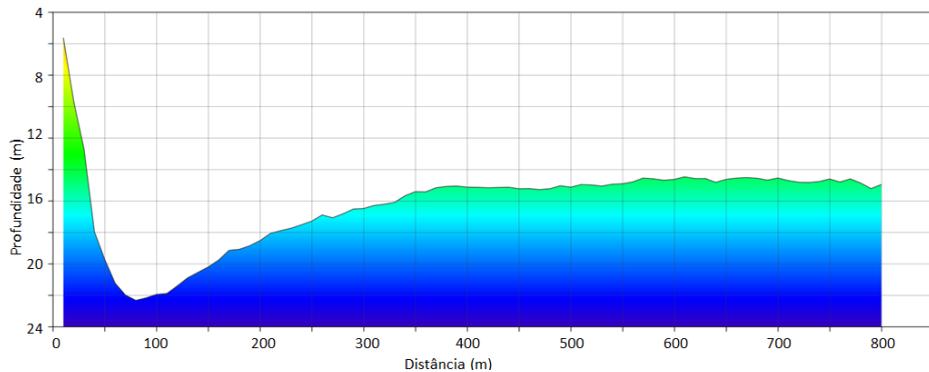


Figura 28 Perfil batimétrico evidenciando a depressão existente na porção sul do mosaico.

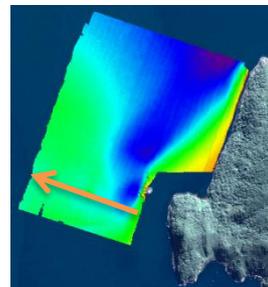
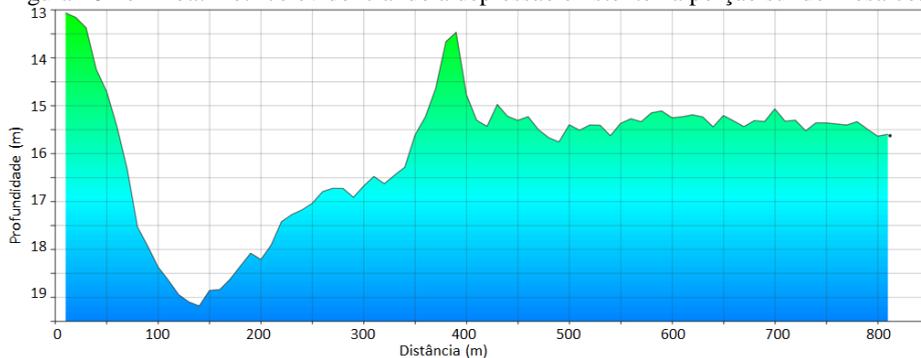


Figura 29 Perfil batimétrico ilustrando as principais características morfológicas da área: o início do canal e um afloramento rochoso.

De forma a promover a melhor visualização possível da área, foi gerada uma imagem em três dimensões com exagero vertical de 3,5m (Figura 30).

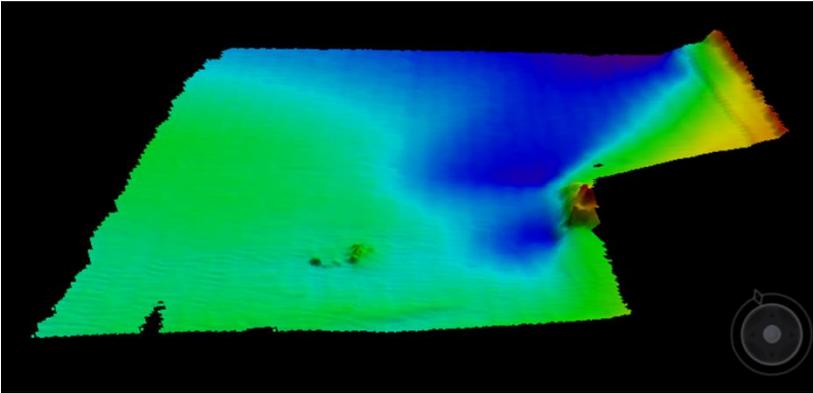


Figura 30 Representação batimétrica em três dimensões.

Na representação da área em 3D, fica evidente a presença de marcas perpendiculares e paralelas ao sentido da navegação em todo o mosaico. A figura 31 mostra detalhadamente essas marcas.

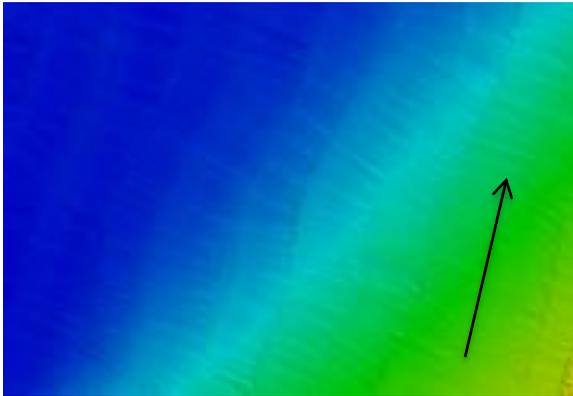


Figura 31 Detalhe das marcas observadas no mosaico. A seta indica o sentido da navegação.

Como mencionado no item 4.1.1, o sistema operacional de um interferômetro (ou de um multifeixe) conta com diversos sensores auxiliares que visam aprimorar a qualidade dos dados aquisitados. Quando algum destes sensores não opera da forma esperada ou quando

o estado de mar se encontra mais agitado que a capacidade de compensação da unidade, os dados podem apresentar erros como os ilustrados na figura 31.

Estas marcas podem ter diversas origens, sendo derivadas principalmente dos movimentos da embarcação no momento do levantamento hidrográfico. (HOPKINS, 2007; MALIK & MAYER, 2007; SCHUITEMA & WERF, 2007). As aqui observadas provavelmente são decorrentes de *roll artifacts* e *heave artifacts*. Estas relacionam-se aos movimentos laterais e verticais da embarcação, sendo o *roll artifact* caracterizado por desvios que aumentam em amplitude na borda das linhas, enquanto o *heave artifact*, é distribuído de forma homogênea nos feixes internos e externos (CRAWFORD, 2003; SCHUITEMA & WERF, 2007). Estes erros também foram descritos por Godin (1998), Malik & Mayer (2007), Beaudoin et al. (2013), Johnson & Jerram, (2015), Beaudoin et al. (2016), e mais recentemente por Camargo (2017), ao utilizar o mesmo equipamento aqui empregado (Edge Tech 4600) em levantamentos hidrográficos realizados em Florianópolis-SC.

Outra fonte de erros possível está associada ao fenômeno conhecido como “*Kármán vortex street*”. Basicamente, este fenômeno ocorre quando existe um fluxo sobre um objeto cilíndrico capaz de gerar vórtices ao longo deste objeto, o fazendo vibrar (TANEDA, 1959; SUN et al., 2009)

Para que sejam evitados, recomenda-se investir maiores esforços na realização do *patch test* de forma a garantir a obtenção de valores sólidos para a correção das movimentações. Além disso, as condições de mar também são significativas ao se realizar um levantamento hidrográfico de forma que, quanto menos perturbações na superfície do mar, menores as chances de ocorrência de erros como os aqui identificados (SCHUITEMA & WERF, 2007).

5.2 SONAR DE VARREDURA LATERAL E BACKSCATTER

Após o processamento dos dados geoacústicos foram elaborados os mosaicos apresentados nas figuras 32 e 33.

Ao analisar detalhadamente cada linha que compõe estes mosaicos, foram identificadas diferentes assinaturas acústicas decorrentes de distintos refletores presentes no fundo.

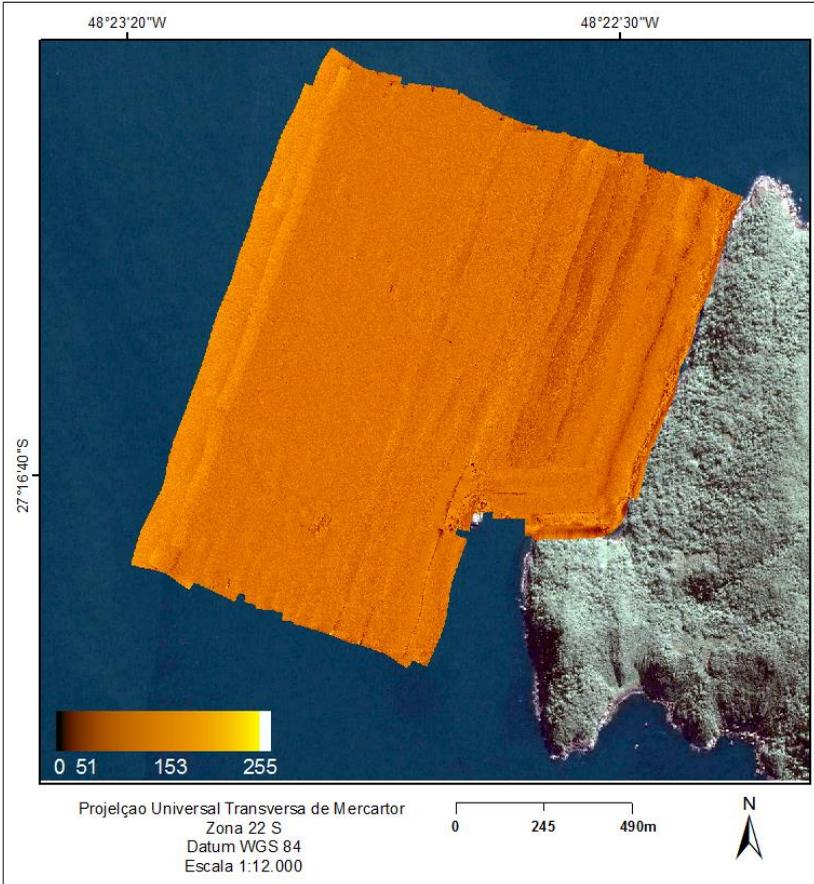


Figura 32 Mosaico sonografia – dados processados no software SonarWiz.

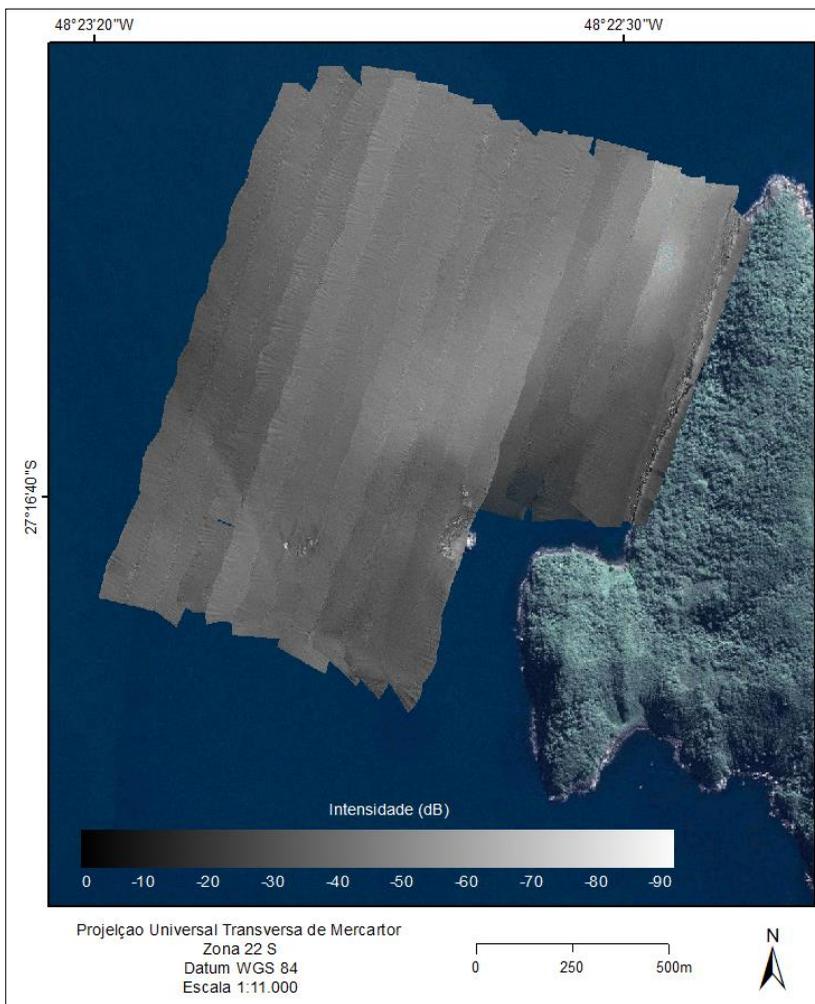


Figura 33 Mosaico backscatter – dados processados no software CARIS.

A descrição dos refletores de fundo foi realizada partindo-se da Ilha do Arvoredo em direção à porção oeste da área.

Desta forma, o primeiro registro é referente à plataforma arenosa adjacente ao costão. Na Figura 34 é possível observar com clareza as rochas constituintes da Ilha do Arvoredo e a superfície de

fundo associada. Nesta área não ocorrem feições sobre o fundo, sendo a resposta acústica bastante homogênea.

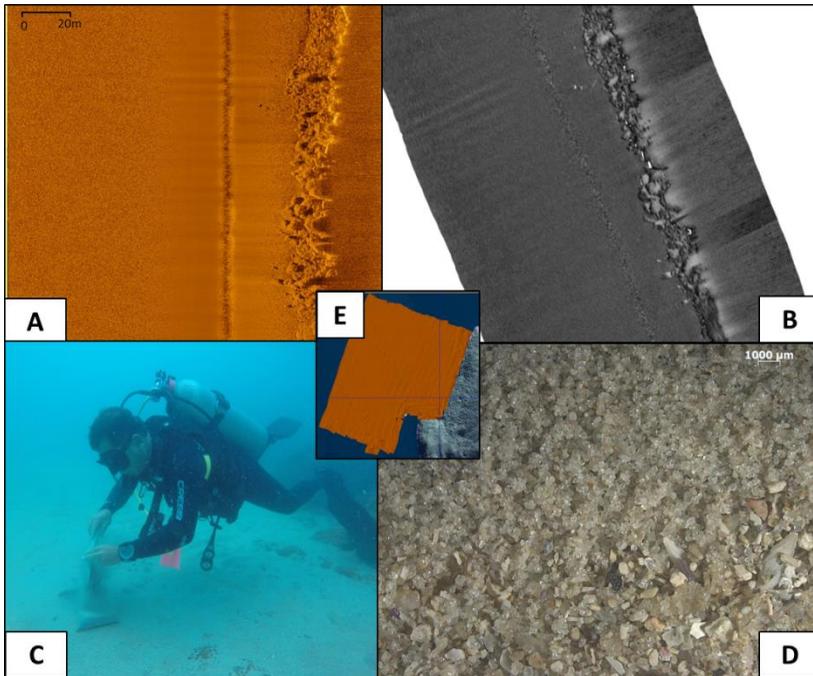


Figura 34 Imagens referentes à plataforma arenosa adjacente ao costão da Ilha do Arvoredo. (A): Registro de SVL. (B): Registro de *backscatter*. (C): Fotografia da plataforma arenosa, tirada em 07/04/2017. (D): Fotografia do sedimento coletado sobre a plataforma arenosa - Amostra Areia-2. (E): Localização dos registros no mosaico.

Após a plataforma arenosa, os registros passam a apresentar grande rugosidade distribuída de forma bastante irregular ao longo das linhas (Figura 35). Esta resposta acústica pode ser atribuída ao banco de algas calcárias existente na área que, devido à sua morfologia, induz uma característica muito particular ao fundo, bastante diferente do restante do mosaico.

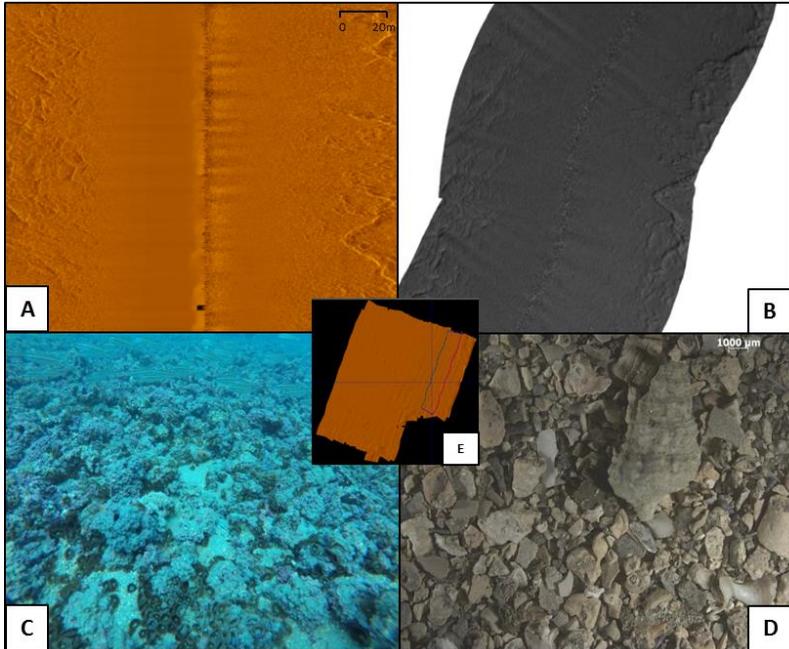


Figura 35 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. (A): Imagem de SVL. (B): Imagem de retroespalhamento. (C): Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. (D): Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra ROD3. (E): Localização dos registros no mosaico.

Na figura 35 é possível observar que os dados de SVL e de *backscatter* são muito semelhantes, sendo possível identificar as mesmas feições nos dois registros. Já a imagem “C” evidencia o aspecto rugoso do fundo com organismos associados aos rodolitos, enquanto que na imagem “D” é possível ver uma fotografia do sedimento coletado.

A figura 36 traz outro exemplo de registros relacionados aos rodolitos. As observações elencadas acima também são válidas neste caso, uma vez que os registros de SVL e retroespalhamento se mostraram bastante semelhantes, evidenciando as mesmas feições.

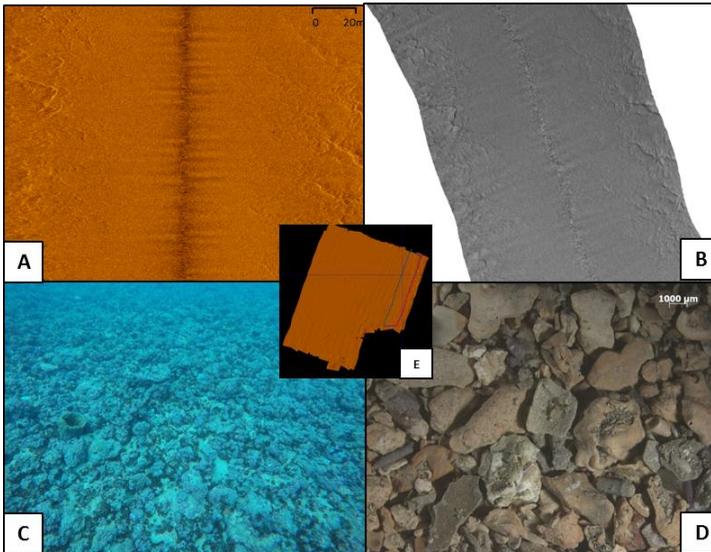


Figura 36 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. A: Imagem de SVL. B: Imagem de retroespalhamento. C: Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. D: Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra ROD2. (E): Localização dos registros no mosaico.

Como visto no tópico anterior, a profundidade aumenta na medida em que se avança para o centro da área de estudo. Naturalmente, em maiores profundidades ocorre a diminuição da temperatura, da irradiação e um aumento nos processos de sedimentação, fatores que levam a uma limitação fisiológica que inibe o crescimento dos rodolitos. Assim, na porção mais profunda do banco, ocorre redução na dimensão e no volume dos nódulos calcários (PASCELLI et al., 2013; HORTA et al., 2016). Esta redução é evidenciada nos registros, onde é possível observar uma clara diminuição da rugosidade de fundo à medida que se avança para a porção oeste. Este padrão de distribuição também foi observado por outros autores, como Amado filho et al. (2007) na costa sul do Espírito Santo e Riul et al. (2009) na costa da Paraíba. Segundo Bahia et al. (2010), este é o padrão estrutural geral dos bancos de rodolitos no Brasil, cuja distribuição pode ser condicionada pela extensão e inclinação da plataforma continental.

A Figura 37 traz imagens de um registro localizado no centro da área de estudo, onde é visível a diminuição da rugosidade quando comparada às figuras 35 e 36 ilustradas anteriormente.

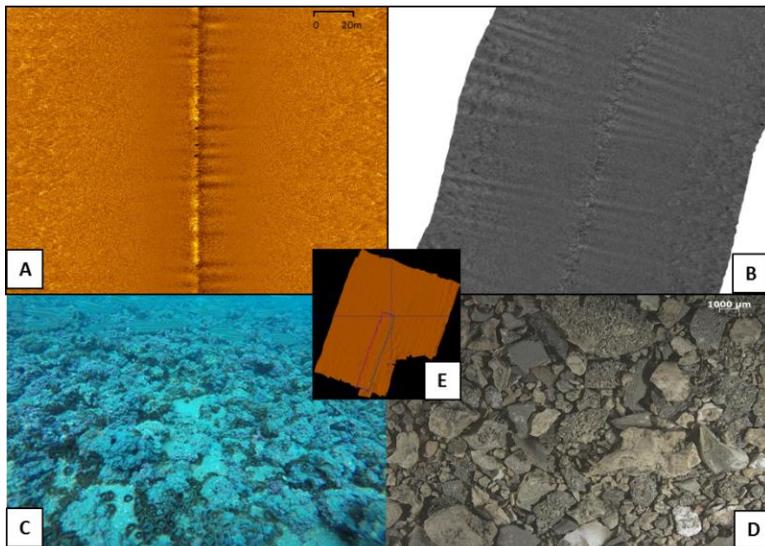


Figura 37 Imagens relacionadas ao banco de algas calcárias. A: Imagem de SVL. B: imagem de retroespalhamento. C: Fotografia do banco de algas calcárias, tirada em 07/04/17. D: Fotografia do sedimento coletado sobre o banco de rodolitos - Amostra P-2. (E): Localização dos registros no mosaico.

Com base nas imagens geoacústicas, foi possível dimensionar a ocorrência de algas calcárias, que se estendem por aproximadamente 825.000m^2 dentro da área abrangida por este estudo (Figura 38). Deve-se destacar que, aparentemente, esta ocorrência possui continuidade ao sul e ao norte da área amostrada na presente pesquisa. A ocorrência dos rodolitos corrobora com o intervalo batimétrico descrito por Gherardi (2004), que os localiza entre 7 e 20 metros de profundidade (Figura 39).

Contudo, é possível que o banco de rodolitos seja dinâmico, apresentando variações sazonais. Pascelli (2009) observou que, por ocorrer sobre uma superfície inconsolidada, os nódulos calcários ficam sujeitos às variáveis hidrodinâmicas do local. Nos meses de inverno (época em que foi realizada a aquisição dos dados), há maior predominância dos ventos provenientes do quadrante sul que geram correntes locais capazes de deslocar alguns rodolitos para a região oeste da área. Já nos meses de verão, quando os ventos do quadrante norte/nordeste são predominantes, os nódulos tendem a se concentrar na porção leste.

Não se espera que haja um grande deslocamento dos nódulos, mas alguns exemplares isolados podem ser os responsáveis pelos limites aqui identificados.

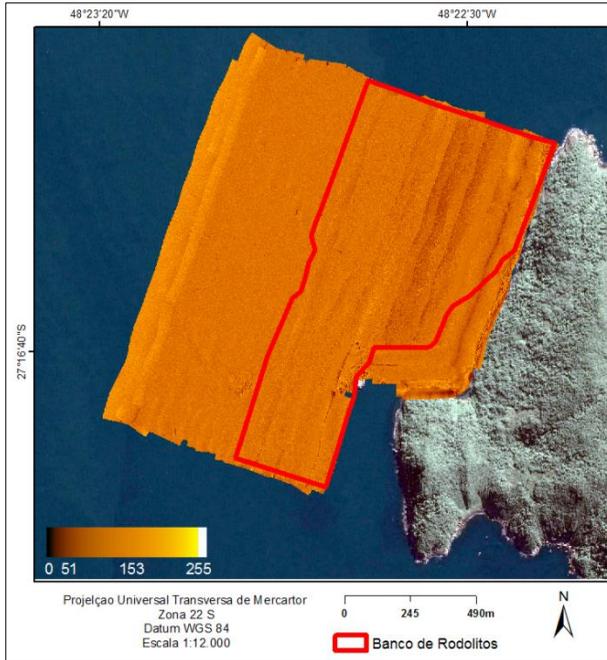


Figura 38 - Delimitação do banco de rodolitos sobre o mosaico de SVL.

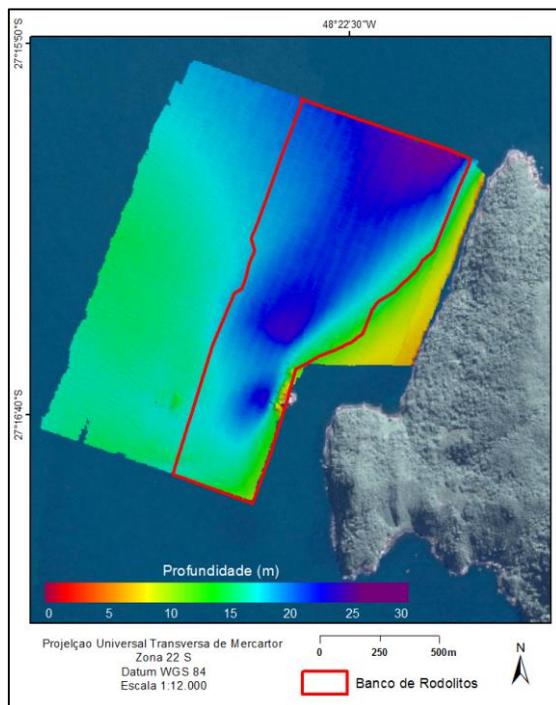


Figura 39 Delimitação do banco de rodolitos sobre o mosaico batimétrico.

Os dois afloramentos rochosos visíveis na batimetria foram bastante evidentes nos registros aqui apresentados. A figura 40 exhibe o conjunto de rochas que compõe a Pedra do Boi (afloramento emerso) com a presença de rodolitos em seu redor. Já o afloramento situado na porção centro-sul da área, não emerso, apresenta dimensão menor que o primeiro, sem a ocorrência de rodolitos (Figura 41).

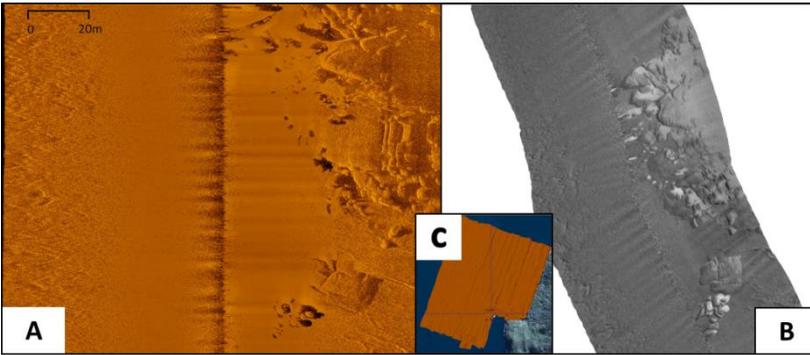


Figura 40 Afloramento rochoso correspondente à Pedra do Boi. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.

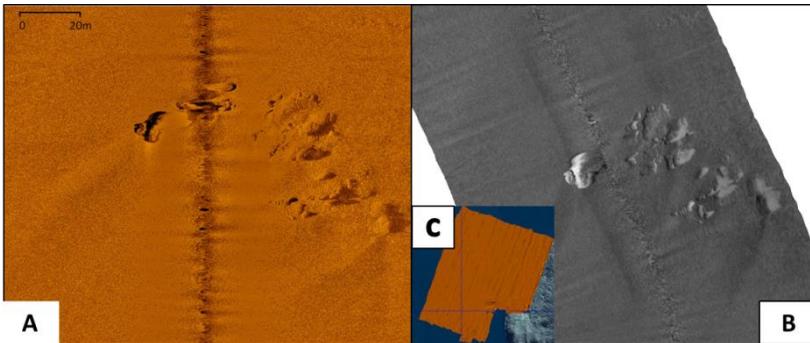


Figura 41 Afloramento rochoso não emerso situado na porção centro-sul do mosaico. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retroespalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.

Outra área a ser destacada, é a porção noroeste do mosaico, onde é possível observar manchas irregulares ao longo das linhas (Figura 42). Estas possuem de 2 a aproximadamente 6m de extensão. Registros muito semelhantes também foram encontrados por Porpilho (2015) na praia do Santinho em Florianópolis-SC. Nesta ocasião, o autor concluiu que as manchas representavam a existência de um sedimento mais grosso do que o da área adjacente.

No caso do presente estudo, as manchas apresentaram resposta acústica menos intensa do que aquela apresentada pela área adjacente, sendo difícil a correlação com a textura sedimentar, frente às particularidades da área.

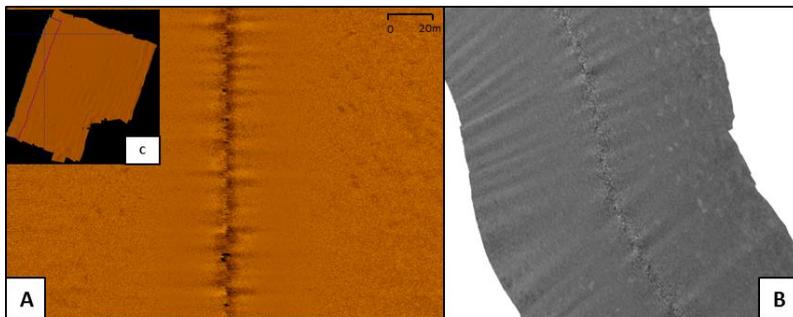


Figura 42 Imagens relacionadas às manchas presentes na região noroeste do mosaico. (A): Registro de SVL. (B): Registro de retrospalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico

Por fim, foram encontradas marcas onduladas no fundo (Figura 43). Estas se fizeram presentes na porção sul e ocuparam apenas a extremidade do mosaico. Contudo, pela configuração apresentada, é possível inferir que ocorra a continuidade das mesmas no trecho sul da área de estudo.

A existência destas marcas possivelmente relaciona-se à uma área de maior hidrodinâmica, onde o fluxo de água condiciona a formação de feições de fundo (NICHOLS 2009).

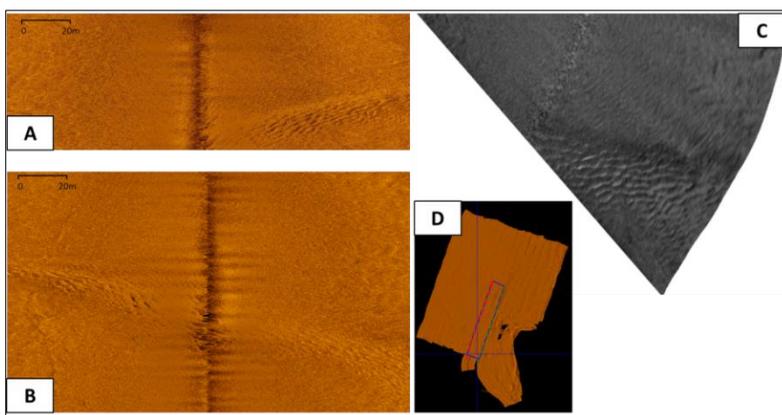


Figura 43 Marcas onduladas encontradas na porção sul da área. (A) e (B): Registro de SVL. (C): Registro de retrospalhamento. (C): Localização dos registros no mosaico.

O restante do mosaico apresenta as mesmas características da plataforma arenosa ilustrada no início do tópico, com registros homogêneos, sem feições de fundo.

5.3 SEDIMENTOLOGIA

A análise sedimentológica indicou altas concentrações de carbonato biodetrítico nas amostras localizadas sobre o banco de rodolitos, com valores variando de 63,73 a 76,95%. Já as amostras referentes à plataforma arenosa apresentaram valores mais baixos, ficando entre 12,09 e 21,72%. Esta distribuição está de acordo com o que foi apresentado por Bitencourt (2013) que, ao realizar a caracterização sedimentar da REBIO e áreas adjacentes, encontrou o maior valor de carbonato biodetrítico na porção norte da Ilha do Arvoredo, relacionando esta ocorrência à presença do banco de algas, enquanto que a área circundante apresentou concentrações de 15 a 20%.

Tabela 1 - Porcentagem de carbonato biodetrítico nas amostras sedimentares.

AMOSTRA	% CARBONATO
Areia 1	21,72
Areia 2	18,24
Areia 3	12,09
ROD 1	76,71
ROD 2	69,03
ROD 3	63,73
P-1	68,47
P-2	70,02
P-3	76,95

Quanto à composição sedimentar, tem-se a presença de areia fina, média e grossa antes da eliminação de carbonato biodetrítico, e a presença de areia fina e média após a eliminação de carbonato (Tabela 2).

Tabela 2 – Diâmetro médio de grão (mm), grau de seleção, classe sedimentar e % de areia das amostras de sedimento superficial antes e após a eliminação de carbonato.

AMOTRA	ANTES DA ELIMINAÇÃO DE CARBONATO				APÓS A ELIMINAÇÃO DE CARBONATO			
	DIÂMETRO MÉDIO DE GRÃO	GRAU DE SELEÇÃO	CLASSE SEDIMENTAR	% AREIA	DIÂMETRO MÉDIO DE GRÃO	GRAU DE SELEÇÃO (mm)	CLASSE SEDIMENTAR	% AREIA
	(mm)	(mm)			(mm)			
Areia 1	0,2693	0,0015	Areia média	100,0%	0,2380	0,0014	Areia fina	100,0%
Areia 2	0,2412	0,0015	Areia fina	99,1%	0,2460	0,0014	Areia fina	100,0%
Areia 3	0,2540	0,0014	Areia média	100,0%	0,2815	0,0015	Areia média	100,0%
ROD-1	0,5491	0,0024	Areia grossa	92,1%	0,3066	0,0015	Areia média	100,0%
ROD-2	0,7328	0,0020	Areia grossa	94,5%	0,3601	0,0016	Areia média	100,0%
ROD3-3	0,5277	0,0022	Areia grossa	89,4%	0,2958	0,0014	Areia média	100,0%
P-1	0,3974	0,0023	Areia média	94,7%	0,4016	0,0022	Areia média	94,6%
P-2	0,3097	0,0026	Areia média	92,0%	0,3489	0,0022	Areia média	94,4%
P-3	0,6407	0,0020	Areia grossa	97,0%	0,2925	0,0016	Areia média	98,4%

A existência de altas concentrações de carbonato biodetrítico condiciona a granulometria das amostras. Na área onde ocorrem rodolitos, o sedimento é composto de areia média; contudo, ao considerarmos os dados brutos (antes da eliminação de carbonato biodetrítico), vemos que 4 das 6 amostras são classificadas texturalmente como areia grossa.

Já na plataforma arenosa, onde as concentrações de carbonato biodetrítico são menores, as amostras “Areia-1” e “Areia-2” são constituídas por areia fina, enquanto que a amostra “Areia-3” constitui-se de areia média, apresentando o menor tamanho de grão entre todas as amostras com essa classificação.

Esta caracterização sedimentar está de acordo com os resultados apresentados por Gherardi (2004) que estudou a produção de carbonato do banco de rodolitos da REBIO, e também com estudos mais abrangentes, como os de Abreu (1998), Almeida (2008) e Bitencourt (2013). Em um dos trabalhos pioneiros nesta área, Corrêa (1980) classifica a porção central da plataforma continental interna de Santa Catarina como sendo constituída por areias e destaca a presença de material biodetrítico em alguns locais. Adicionalmente, Abreu (1998) identificou que, na região da Ilha do Arvoredo, a fácies arenosa apresenta pelo menos 96% de areia em sua constituição.

5.3.1 Sedimentologia x Resposta acústica

É possível observar claramente as diferenças de intensidade presentes ao longo do mosaico do retroespalhamento obtido nesta pesquisa. Tal variabilidade permite que, potencialmente, estes dados sejam interpretados comparativamente em relação à distribuição sedimentar de fundo, a exemplo dos trabalhos de Kostylev et al. (2001) e Dartnell & Gardner (2004).

Segundo Kostylev et al. (2001), valores de retroespalhamento altos são relacionados à sedimentos grossos e de alta rugosidade, enquanto os sedimentos finos apresentam um retroespalhamento menos intenso. Neste sentido, ao realizar o mapeamento do habitat bentônico através de dados de *backscatter*, Kostylev et al. (2001) identificou valores elevados, de -10 a -30 dB, associados a cascalho e baixos valores, de -30 a -60 dB, associados a areias finas.

Observando a figura 44, vemos que a área correspondente à plataforma arenosa (área 2) foi a que apresentou os maiores valores de retroespalhamento. Já a região onde ocorre o banco de rodolitos apresentou valores consideravelmente menores e bastante variáveis ao longo de sua extensão (área 1).

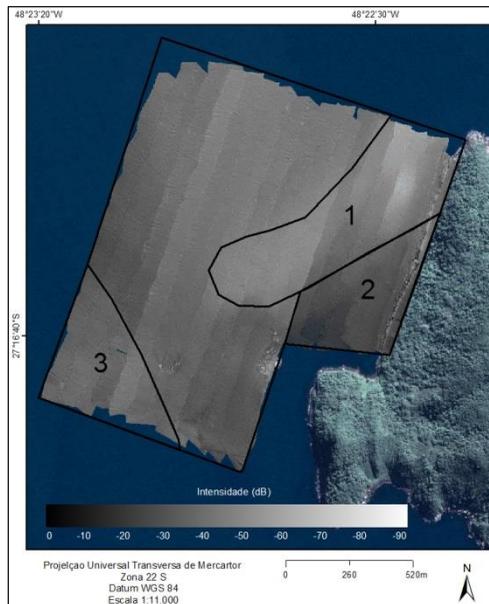


Figura 44 Mosaico do retroespalhamento.

Esta diferença de intensidade sobre o banco de rodolitos pode ser explicada pela grande quantidade de algas e invertebrados que crescem sobre o banco, (METRI, 2006; HORTA et al., 2008; PINHEIRO & CASTELLO, 2010; SEGAL, 2017) os quais podem causar a atenuação do sinal, resultando em valores de retroespalhamento mais baixos.

Como o retroespalhamento é função de um conjunto de variáveis, é prudente interpretar os registros em conjunto com amostras sedimentares de forma a prover melhor confiabilidade acerca da composição do leito.

5.4 MAPA SÍNTESE DA GEODIVERSIDADE

Através da análise integrada dos dados, foi gerado um mapa síntese da geodiversidade (Figura 45). Neste é possível observar a localização e a representação das feições identificadas ao longo da pesquisa.

Por meio da tabela 3, conclui-se que a unidade de maior representação espacial relaciona-se à ocorrência dos rodolitos que recobrem cerca de 47,96% da área. Estes, juntamente com a plataforma arenosa, representam aproximadamente 90,61% da área abrangida por este estudo sendo, portanto, as unidades de maior representatividade espacial encontradas.

Tabela 3 Unidades identificadas e sua respectiva cobertura espacial

UNIDADE	ÁREA TOTAL (m ²)	COBERTURA (%)
Área de estudo	1.720,000	100
Afloramentos rochosos	52.800	3,06
Banco de rodolitos	825.000	47,96
Manchas indiscriminadas	145.000	8,43
Marcas onduladas	2.850	0,16
Plataforma arenosa	733.600	42,65

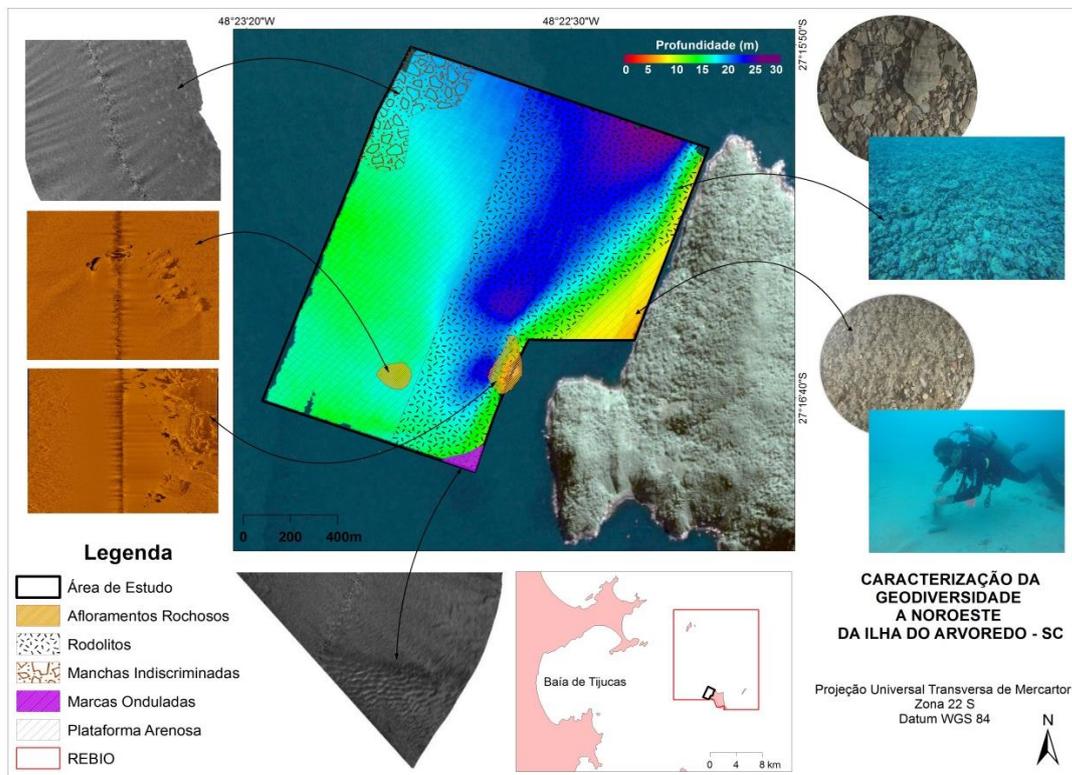


Figura 45 Mapa síntese da geodiversidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos ao longo do trabalho, conclui-se que:

Através dos dados geocústicos e sedimentares, foi possível caracterizar a geodiversidade da plataforma continental interna a noroeste da Ilha do Arvoredo. A utilização de dados de detalhe possibilitou um melhor entendimento da área, que mostrou ser composta por diferentes constituintes abióticos.

A interferometria se mostrou uma técnica eficiente na investigação de águas rasas (até 30), possibilitando a interpretação conjunta de dados de SVL, retroespalhamento e batimetria.

- A profundidade da área investigada variou de 0 a aproximadamente 26 metros;
- As principais características geomorfológicas identificadas foram: presença de um canal em formato de “V” sobre o qual ocorrem três depressões e existência de dois afloramentos rochosos;
- Quanto às feições morfossedimentares, foi delimitada uma área de aproximadamente 825.000m² correspondente a um banco de rodolitos; na porção oeste da área de estudo foram encontradas manchas irregulares - cuja característica composicional não foi identificada - com tamanhos de 2 a 6m; e ao sul da área foram encontradas marcas onduladas sobre o leito;
- O substrato da porção noroeste da REBIO é recoberto por areias com altas concentrações de carbonato biodetrítico, característica decorrente da existência de rodolitos na área;
- O banco de rodolitos e a plataforma arenosa foram as unidades de maior representatividade espacial encontradas, recobrendo juntas cerca de 90,61% da superfície de fundo investigada.

As amostras sedimentares não foram suficientes para validar a resposta derivada do retroespalhamento. Recomenda-se portanto, a realização de malhas amostrais mais densas para que, desta forma, a distribuição das amostras sedimentares seja representativa ao longo de toda a área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, J. G. N. DE; HORN FILHO, N. O. (orgs). *Plataforma Continental de Santa Catarina*. In: Dominguez, J. M. L & Vital H. *Plataforma Continental Brasileira*. PGGM. 50 p. (no prelo).
- ABREU, J. G.; GRABOWSKI NETO, D.. Distribuição Dos Sedimentos Superficiais Na Plataforma Continental Interna Do Litoral Norte De Santa Catarina. In: *II Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, 2003. 2p.
- ABREU, J. G. N. *Contribuição à sedimentologia da plataforma continental interna de Santa Catarina entre a foz dos rios Tijucas e Itacopu*. 1998. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 1998.
- ALMEIDA, D. C. DE. *Diagnóstico da Distribuição de Sedimentos Finos e Processos Físicos Associados na Baía de Tijucas - SC*. 2008. 85f.. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Do Vale do Itajaí, Itajaí, 2008.
- AMADO FILHO, G. M.; MANEVELDT, G.; MANDO, R. C. C.; MARINS-ROSA, B. V.; PACHECO, M. R.; GUIMARÃES, S. M. P. B. Estructura de los mantos de rodolitos de 4 a 55 metros de profundidad en la costa sur del estado de Espírito Santo, Brasil. *Ciencias Marinas*, v. 33, n. 4, p. 399–410, 2007.
- AMORIM, F. D. L. L. *Hidrodinâmica E Propriedades Físicas Das Águas Adjacentes À Reserva Biológica Marinha Do Arvoredo -SC*. 2013. 84f.. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Oceanografia) -Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013
- 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.
- BAHIA, R. G.; ABRANTES, D. P.; BRASILEIRO, P. S; PEREIRA FILHO, G. H.; AMADO FILHO, G. M. Rhodolith bed structure along a depth gradient on the northern coast of Bahia state, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, n. 4, p. 323–337, 2010.

BEAUDOIN, J.; CLARKE, J. E. H.; DOUCET, M. *Transitioning Research to Operations : The Case of Wobble Analysis*. 2016. 15p.

BEAUDOIN, J.; RICE, G.; FOSTER, B.; HART, K. *NOAA Ship Rainier Kongsberg Maritime EM710 Multibeam Echosounder Survey System Review & Troubleshooting*. 2013. 30p.

BERNARDO, N. A. *Sedimentologia da Área de Entorno da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo*. 2008. 59f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Oceanografia) - Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, UNIVALI, Itajaí, 2008.

BITENCOURT, V. J. B. DE. *Caracterização Sedimentar Da Reserva Biológica Marinha Do Arvoredo (SC) e Áreas Adjacentes*. 2013. 54f.. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em Oceanografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BLONDEL, P. *The Handbook of Sidescan Sonar*. New York: Springer - Praxis, 2009. 344 p.

BOUZON, J.; FREIRE, A. The Brachyura and Anomura fauna (Decapoda; Crustacea) in the Arvoredo Marine Biological Reserve on the southern brazilian coast. *Brazilian Journal of Biology*, v. 67, n.2, p. 321–325, 2007.

BRANDINI, F.P., 2003. Hidrografia e Produção Biológica na Região Sul do Brasil no Contexto do REVIZEE. In *Programa REVIZEE*, EDUSP, São Paulo.

BRILHA, J. *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga: Palimage Editores, 2005. 183 p.

BRISSON, L. N.; WOLFE, D. A.; STALEY, M. P. S. M.. Interferometric swath bathymetry for large scale shallow water hydrographic surveys. *Canadian hydrographic conference*, p. 18, 2014.

BRITTO, M. C. DE; FERREIRA, C. DE C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. *Revista de Geografia - PPGE*, v.2, n.1, p.1–10, 2011.

BROOKS, A. J.; KENYON, N. H.; LESLIE, A.; LONG, D.; GORDON, J. E. Characterising Scotland's marine environment to define search

locations for new Marine Protected Areas. Part 2: the identification of key geodiversity areas in Scottish waters (interim report July 2011). *Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.430*. 2011. 205 p.

CAMARGO, R. S. V.. *Análise do desempenho do sonar diferenciador de fase EdgeTech 4600 na detecção de feições batimétricas de pequena escala no entorno da cidade de Florianópolis, ilha de Santa Catarina*. 2017. 121f.. Dissertação (Mestrado em Geofísica Marinha) - Programa de Pós Graduação em Dinâmica dos Oceanos, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

CAÑADAS, E. S.; FLAÑO, P. R. Geodiversidad: Concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Termes Caracena (Soria). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n. 45, p. 79–98, 2007.

CARIS. Manual *CARIS HIPS and SIPS 8.1 - TOOLS*, 2013.

CARVALHO, J. L. B. .; SCHETTINI, C. A. F. .; RIBAS, T. M. Estrutura Termohalina Do Litoral Centro-Norte Catarinense. *Notas Técnicas FACIMAR*, v. 2, p. 181–197, 1998.

CASTRO, B. M.; BRANDINI, F. P; PIRES-VANIN, A. M. S; MIRANDA, L. B. Multidisciplinary oceanographic processes on the Western Atlantic continental shelf between 4 N and 34 S. *The Sea - The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses*, v. 14, p. 259–293, 2005.

CHLUDINSKY, A. P.; BONETTI, J. Aplicação de um Modelo Digital de Terreno na Caracterização do relevo submerso da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Baía de Tijucas – SC. *Gerenciamento Costeiro Integrado*, p. 13–14, 2002.

COLLIER, J. S.; BROWN, C. J. Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology*, v. 214, p. 431–449, 2005.

CORRÊA, I. C. S. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental entre São Paulo e Santa Catarina. *Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências UFRGS, Porto Alegre*, v. 13, p. 109–141, 1980.

COUTINHO, P. DA N. *Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil: Programa Revizee*. FEMAR/SECIRM, 1996. 75p.

CRAWFORD, A. Removing Roll and Heave Artifacts from High-Resolution Multibeam Bathymetric Data. *Defence Research and Development Canada*, 2003, p. 30.

DARTNELL, P.; GARDNER, J. V. Predicting seafloor facies from multibeam bathymetry and backscatter data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.70, n.9, p. 1081–1091, 2004.

DELELIS, C. J.; REHDER, T.; CARDOSO, T. M. *Mosaico de áreas protegidas: Reflexões e propostas da cooperação franco-brasileira*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, MMA; Embaixada da França no Brasil - CDS, UnB, 2010. 148p.

DIAS, G. T. M. Granulados bioclásticos: algas calcárias. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 18, n. 3, p. 308–318, 2001.

DODD, D. Uncertainty Evaluation of the EdgeTech 4600 Swath Bathymetry System. *Center of Coastal and Ocean Mapping*, 2015, 16p.

EDGE TECH. *4600 Swath Bathymetry and Side Scan Sonar: Reference Manual*. 2012. 119 p.

ELEFThERIOU, A (editor). *Methods for the study of marine benthos*. 0034 ed. Creta: Wiley Blackwell, 2013. 496p.

EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters off southern Brazil. *Instituto Oceanográfico - USP*, v. 144, p. 101-112, 1960.

GHERARDI, D. F. M. Community Structure and Carbonate Production of a Temperate Rhodolith Bank From Arvoredo Island, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 52, n. 34, p. 207–224, 2004.

GODIN, A. *The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. Technical report: Geodesy and Geomatics Engineering - UNB.Canada, 1998. 200p.

GOFF, J. A.; OLSON, H. C.; DUNCAN, C. S. Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. *Geo-Marine Letters*, v. 20, n. 1, p. 43–49, 2000.

GOSTNELL, C. *Efficacy of an interferometric sonar for hydrographic surveying: do interferometers warrant an in-depth examination?*. NOAA National Ocean Service. 2005, 35p.

GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2004. 450p.

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

HOPKINS, A. *Recommended operating guidelines for swath bathymetry*. Mapping European Seabed Habitats - MESH. 2007. 20p.

HORN FILHO, N. O. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, v. 18, n. 35, p. 71–98, 2003.

HORTA, P. A. et al. Rhodoliths in Brazil: Current knowledge and potential impacts of climate change. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 64, p. 117–136, 2016.

HORTA, P. A. SCHERENER, F.; BOUZON, Z. L.; RIOSMENA-RODRIGUES, R.; OLIVEIRA, E. C.. Morphology and reproduction of *Mesophyllum erubescens* (Foslie) Me. Lemoine (Corallinales, Rhodophyta) from Southern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 34, n. 1, p. 125–134, 2011.

HORTA, P. A.; SALLES, J. P.; BOUZON, J. L.; SCHERNER, F.; CABRAL, D. Q.; BOUZON, Z. L.. Composição E Estrutura Do Fitobentos Do Infralitoral Da Reserva Biológica Marinha Do Arvoredo , Santa Catarina , Brasil – Implicações Para A Conservação. *Oecol. Bras.*, v. 12, n. 2, p. 243–257, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.177p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. *Plano de Manejo: Reserva Biológica Marinha do Arvoredo - Encarte 1 -* Conte contextualização da UC. Brasília: MMA/IBAMA, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. *Plano de Manejo: Reserva Biológica Marinha do Arvoredo - Encarte 2 -* Análise da Região da UC. Brasília: MMA/IBAMA, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. *Plano de Manejo: Reserva Biológica Marinha do Arvoredo - Encarte 3 - Análise da UC*. Brasília: MMA/IBAMA, 2004

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. *Rebio Marinha do Arvoredo*. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasileiros/marinha/unidades-de-conservacao-marinha/2276-rebio-marinha-do-arvoredo>>. Acesso em: 02 de maio de 2016.

JOHNSON, P.; JERRAM, K. *R / V Kilo Moana EM122 and EM710 Multibeam Echosounder System Review*. Center for Coastal and Ocean Mapping/Joint Hydrographic Center. Durham, EUA. 2015. 33p.

KAGESTEN, G. *Geological seafloor mapping with backscatter data from a multibeam echosounder*. 2008. 47F.. Master in Environmental and aquatic engineering - Department of Earth Sciences, Gothenburg University, Gothenburg, Sweden, 2008.

KEMPF, M. Perspectiva de exploração econômica dos fundos de algas calcárias da plataforma continental nordeste do Brasil. *Trabalho Oceanográfico - Universidade Federal de Pernambuco - Recife*, v. 15, p. 139–164, 1980.

KOSTYLEV, V. E.; TODD, B. J.; FADER, G. B. J.; COURTNEY, R. C.; CAMERON, G. D. M.; PICKRILL, R. A.. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, v. 219, p. 121–137, 2001

KOTAS, J. E.; SANTOS, A. C. N.; SCALCO, A. C. S. Elasmobrânquios demersais da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC (Brasil). *Revista CEPSUL- Biodiversidade e conservação marinha*, v. 6, p. 37, 2017.

LANARI, M. & COPERTINO, M. Variabilidade sazonal da estrutura da comunidade de macroalgas no infralitoral da Ilha do Arvoredo, REBIOMAR DO ARVOREDO, SC. *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*, p. 2006–2007, 2007.

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

MACHADO, A. A.; FILLMANN, G. Estudo da Contaminação por Resíduos Sólidos na Ilha do Arvoredo: Principal Ilha da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (RBMA), SC. *Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 3, p. 76, 2010.

MALIK, M. A.; MAYER, L. A. Investigation of seabed fishing impacts on benthic structure using multi-beam sonar, sidescan sonar, and video. *ICES Journal of Marine Science*, v. 64, n. 5, p. 1053–1065, 2007.

MAZEL, C. *Side Scan Sonar Record Interpretation*. New York: Klein Associates, Inc., 1985. 153p.

METRI, R. *Ecologia de um banco de algas calcárias da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC, Brasil*. 2006. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Curso de Pós Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MICALLEF, A.; LE BAS, T. P.; HUVENNE, V. A. I.; BLONDEL P.; HUHNERBACH, V.; DOIDUM, A.. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. *Continental Shelf Research*, 13p, 2012.

MIGUENS. A. P. *Navegação: a ciência e a arte*. Volume I: Navegação costeira estimada em águas restritas. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação - Marinha do Brasil, 1996.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização - Portaria MMA n° 9, de 23 de janeiro de 2007*. Brasília: MMA, Brasília, 2007.

MUSSI, C. S. *Mapeamento Da Geodiversidade E Análise De Bens E Serviços Ecosistêmicos Prestados Pela Plataforma Continental De Santa Catarina, Brasil*. 2017. 242f.. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

NASCIMENTO, L. V. DOS R. P.; PACHECO, F. C.; PAQUETTE, M. L.; ABREU, J. G. N.; BONETTI, J. Caracterização Sedimentológica da Área de Entorno da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo Com Base

na Proporção Entre Areia e Lama. In: *XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA*. 2015. 5p.

NETTO JÚNIOR, J. P. B. *Hidrografia e massas de água da plataforma continental sudeste brasileira em 26° 45' S*. 2000. 135f.. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) - Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2000.

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

NIETO, L. M. Geodiversidad : propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero*, v. 112, n. 2, p. 3–12, 2001.

OBATA, C. S. S. *Análise da distribuição espaço-temporal das massas d'água, material em suspensão e clorofila-a na Reserva Biológica Marinha Do Arvoredo E Entorno – SC, Brasil*. 2016. 89f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Oceanografia) - Programa de Pós Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PASCELLI, C.; RIUL, P.; RIOSMENA-RODRÍGUEZ, R.; SCHERNER, F.; NUNES, M.; HALL-SPENCER, J. M.; OLIVEIRA De, E. C., HORTA, P. Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). *Aquatic Botany*, v. 111, p. 62–65, 2013.

PEREIRA, M. L. M.; BONETTI, J. Caracterização Geomorfológica Do Relevo Submarino Técnicas De Análise Espacial. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 1, p. 127–147, 2018.

PEREIRA, M. L. M. *Caracterização de paisagens marinhas de Unidades de Conservação no Brasil e sua aplicabilidade na gestão*. 2016. 128 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PEREIRA, M. D.; SCHETTINI, C. A. F.; OMACHI, C. Y. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de santa catarina através de imagens orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 1, p. 81–93, 2009.

PINHEIRO, I. E. G.; CASTELLO, J. P. Caracterização E Comparação

Da Abundância E Diversidade De Peixes Recifais Em Diferentes Enseadas Da Ilha Do Arvoredo: Considerações Sobre a “Reserva Biológica Marinha (Rebiomar) Do Arvoredo”. *Atlântica*, v. 32, n. 2, p. 127–140, 2010.

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.

PUGH, D. T. *Tides, Surges and mean sea-level*. Swindon, UK: John Wiley & Sons Ltd, 1987. 486p.

REGALLA JR, C.; PEREIRA, F. O.; RORIG, L. R.; RODRIGUES-RIBEIRO, M.; TAMANAHA, M. S.; PROENÇA, L. A. O. Migração Vertical E Taxas Fisiológicas De *Thalia Democratica* (Salpidae: Thaliacea) Na Reserva Marinha Do Arvoredo, Santa Catarina. *NOTAS TÉC. FACIMAR*, v. 8, p. 45–54, 2004.

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.

RIUL, P.; LACOUTH, P.; PAGLIOSA, P. R.; CHRISTOFFERSEN, M. L.; HORTA, P. A.. Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment. *Aquatic Botany*, v. 90, n. 4, p. 315–320, 2009.

ROFF, J. C.; TAYLOR, M. E.. National frameworks for marine conservation — a hierarchical geophysical approach. *Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems*, v. 10, p. 209 - 223, 2000.

SAMSUDIN, S. A.; HASAN, R. C. Assessment of multibeam backscatter texture analysis for seafloor sediment classification. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 42, n. 4W5, p. 177–183, 2017.

SCHUITEMA, L.; WERF, A. V. D. *Artefacten in multibeam echosounder data*. Adviesdienst Geo- Informatie en ICT Informatie: Delft: 2007. 124p.

SEGAL, B.; FREIRE, A. S.; LINDNER, A.; KRAJEWSKI, J. P.; SOLDATELI, M. (Org.). *MAArE: Monitoramento ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e entorno*. 1º ed. Florianópolis: UFSC/MAArE, 2017. 268p.

SILVA, C. R. DA. *Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro*. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p.

SILVA, J. G. S. DA. *A Utilização Do Sonar De Varredura Lateral E Do Ecobatímetro Multifeixe Na Interpretação E Análise Da Morfologia Da Baía De Vitória (Es)*. 2010. 76f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

SOUZA, L. A. P. DE. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. 2006. 311f.. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SUN, W.; ZHAO, J.; DI, J.; WANG, Q.; WANG, L. Real-time visualization of Karman vortex street in water flow field by using digital holography. *Optics Express*, n.17, v.22, 7p, 2009.

TANEDA, S. Downstream Development of the Wakes behind Cylinders. *Journal of the Physical Society of Japan*, n.14, n.6, p. 843-848, 1959.

TESSLER, M. G.; SOUZA, L. A. P. DE. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Rev. bras. oceanogr.*, v. 46, n. 1, p. 69–83, 1998.

TRUCCOLO, E. C. Estudo Do Comportamento Do Vento No Litoral Centro-Norte De Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p. 451–460, 2011.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F. Marés Astronômicas Na Baía Da Babitonga , SC *NOTAS TÉC. FACIMAR*, v. 3, p. 57–66, 1999.

VALLE JR, C. A.; BOOS JR. H.; KOTAS, J. E.; SANTOS, R. A. *Fauna Demersal E Bentônica Da Reserva Biológica Marinha Do Arvoredo E Adjacências, Santa Catarina, Brasil*. In: Congresso Latino Americano de Ciências do Mar. **Anais...**2011. 3p.

VALLEJO, L. R. Unidades de conservação: uma discussão teórica à luz dos conceitos de território e de políticas públicas. *Geographia*, v. 4, n. 8, p. 22, 2002.

VAN RIJN, L. C. Sediment transport: bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 110, n. 10, p. 1431–1456, 1984.

VARELA, A. R. D.. *Flora Macrofitobêntica da Reserva Biológica do Arvoredo e Ilhas Circunvizinhas*. 2010. 44f.. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Departamento de Botânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VERONEZ JÚNIOR, P.; BASTOS, A. C.; PIZZIN, B. F.; GAVA, R. D.; QUARESMA, V. S.; SILVA, C. G.. Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na Baía de Vitória - ES. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 3, p. 411–425, 2009.

VIS-STAR, N. C. *Modeling the morphodynamics of shoreface - connected sand ridges*. 2008. 168 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Utrecht. Holanda, 2008, 2008.