

Fayna Arendartchuk

**CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DA
PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA AO SUL DA ILHA
DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Oceanografia
Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti
Filho

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Arendartchuk, Faynna
CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DA PLATAFORMA
CONTINENTAL INTERNA AO SUL DA ILHA DE SANTA
CATARINA / Faynna Arendartchuk ; orientador,
Jarbas Bonetti Filho, 2018.
122 p.

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

Inclui referências.

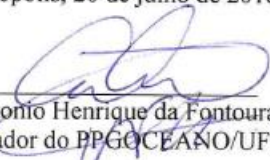
1. Oceanografia. 2. Oceanografia. 3.
Geomorfologia Submarina. 4. Sistema
Interferométrico. 5. Análise Espacial. I. Bonetti
Filho, Jarbas. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia.
III. Título.

Fayna Arendartchuk

**Caracterização Morfosedimentar da Plataforma
Continental Interna ao Sul da Ilha de Santa Catarina**

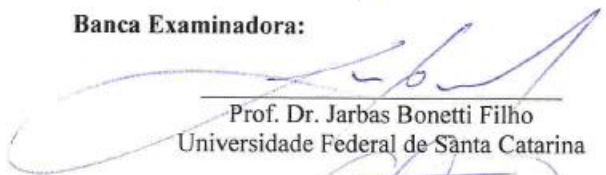
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Oceanografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Oceanografia.

Florianópolis, 20 de julho de 2018.

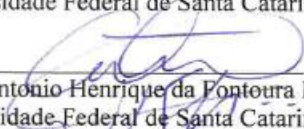


Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Coordenador do PPGOCEANO/UFSC

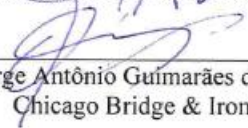
Banca Examinadora:



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



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



Dr. Jorge Antônio Guimarães de Souza
Chicago Bridge & Iron

Dedico este trabalho a meus pais,
Procópio e Rosemary, e a minha tão
doce Catarina.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer imensamente meus pais, por me apoiarem e incentivarem em tudo, desde o início da jornada acadêmica. A Naiara e Samuel pelo incentivo as pedaladas! Ao Raul e Greicy pelas hospedagens e conversas.

Ao Zé, por ser quem é.

Ao Franco, Maiara, Du, Mateus Martins, Mateus Bose, Renato, Jéssica Finco, Julia, pela participação fundamental na campanha para levantamento dos dados no Pântano do Sul.

Ao professor e orientador Jarbas, o qual me guiou na construção deste trabalho. A professora Carla pelas contribuições fundamentais nos processos dessa dissertação. Ao professor Antonio Klein pelo apoio e compreensão.

A queridíssima Charline, por todo seu carisma e todas ajudas nesse caminho. A Carol e Mario aos ensinamentos fundamentais sobre o BTM. Ao Arthur Panamá, por todas as ajudas, sem ele teria sido muito mais difícil.

A Inaiê, pela beleza que traz nos olhos e cumplicidade tão rara. A Danae, por todas e tantas mãos que me deu nesse caminho. A Laís, pela parceria e apoio na revisão do texto. Ana Paula, com o apoio no SMC.

As queridas e queridos Jessica Leiria, Thaise, Bruna, Irlanda, Sara, Thales, Arthur Miranda, pelas sempre ótimas companhias.

A galera do LCM, Déia, Wilson, Carlos, Landinho, todos aqueles que animaram os cafés com boas conversas.

Por fim, mas tão importante quanto, agradeço a toda sociedade brasileira, que com sua contribuição, por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) financiou este estudo através da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial. Ao INCT Mar COI e MMA Riscos.

“Florescer exige passar por todas as estações.” (Ita Portugal)

RESUMO

Neste trabalho foi caracterizado o relevo de fundo, identificando feições e padrões geomorfológicos e sua relação com a dinâmica local e formação geológica da plataforma continental interna da Enseada do Pântano do Sul desde as proximidades das Ilhas Três Irmãs e da Ilha de Santa Catarina até a profundidade de 60 metros. Através da aplicação de técnicas de classificação dos tipos de fundo com auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e análise de dados sedimentológicos foi possível contribuir com a identificação de feições morfosedimentares. Com o auxílio dos programas Hypack 2013 e SonarWiz foram coletados e processados os dados de geoacústica entre as profundidades de 5 a 27 metros. As análises relacionando batimetria e sedimentologia em grande escala, indicaram uma paleolinha de costa na isóbata de 40 metros, com a presença de 47% de carbonato de cálcio concentrado nessa região, associado a concentrações de sedimento classificados como silte muito grosso a areia grossa. Na área do Pântano do Sul, zona central e leste da área mapeada, foi possível identificar feições como marcas onduladas bem definidas e de mesma direção (*rippled scour depressions* ou *sorted bedforms*), com comprimentos de onda variando entre 1,00 a 1,20 m e altura entre 0,05 a 0,20 m. Constituídas de areia, com profundidades maiores que seu entorno, sendo estes de fundo plano com suspeita de terem em sua composição sedimentos mais finos. A associação com a sedimentologia foi feita com dados pretéritos. A análise do fluxo de ondas sobre as feições na enseada do Pântano do Sul mostrou o giro da ondulação de sudeste para leste, potencializando as formações. Na zona sul da área, foram identificadas feições nomeadas de “manchas escuras” que apresentaram em alguns casos como depressões locais. As manchas têm dimensões que variam de 5 a 30 m de extensão. Pela análise de imagens pode se inferir que as manchas correspondem a sedimentos muito finos.

Palavras-chave: Geomorfologia submarina. Sistema interferométrico. Análise espacial.

ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the bottom relief identifying features and geomorphological patterns and their relationship with the local dynamics and geological formation on the internal continental shelf of the Pântano do Sul Bay from the vicinity of the Três Irmãs Islands and the Santa Catarina Island until the depth of 60 meters. Through the application of classification techniques of the types of seabed with the aid of a Geographic Information System (GIS) and analysis of sedimentological data, it is contributed to the identification of morphosedimentary features. In addition to using data obtained from geoacoustic collection through interferometry (450 kHz) between depths of 5 to 27 meters, bathymetry data were processed in the Hypack 2013 program and sonar side-scan images in the SonarWiz 6 program. The analyzes relating bathymetry and sedimentology in a large scale using the Benthic Terrain Modeler tool, indicated a 40-meter isotope coast paleolyne, with the presence of 47% of calcium carbonate concentrated in this region, associated with sediment concentrations classified as very thick sand silt thick. In the area of the Pântano do Sul, central zone and east of the mapped area, it was possible to identify features like rippled scour depressions or sorted bedforms, with wavelengths varying between 1 a 1.20 m and height between 0.05 a 0.20 m. They are composed of sand, with depths greater than their surroundings, being these of flat bottom with suspected to have in its composition finer sediments. As there were no sediment collections in the area, the associations were made with previous data. The analysis of the flow of waves on the features showed the swirling of the swell from southeast to east, potentiating the formations in the Pantano do Sul. In the southern area of the area, features named "dark spots" were identified that in some cases appear as depressions locations. The spots have dimensions ranging from 5 to 30 m in length. By the analysis of side-scan images sonar the suspicion is that these spots correspond to very fine sediments, however, no collection was made on the stains.

Keywords: Submarine geomorphology. Interferometric system. Spatial analysis.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização da área de estudo. Datum: WGS 1984 - Zona 22 Sul. | 30 |
| Figura 2. Mapa de distribuição do diâmetro médio. | 32 |
| Figura 3. Setores da enseada do Pântano do Sul. | 34 |
| Figura 4. Perfis sonográficos da enseada do Pântano do Sul. | 35 |
| Figura 5. Difração em meio submarino. | 38 |
| Figura 6. Interferômetro EdgeTech – 4600 (540 kHz). | 40 |
| Figura 7. Exemplo de como o Índice de Posição Batimétrica pode ser obtido da batimetria. Onde a resolução do <i>grid</i> é de 1 metro. | 42 |
| Figura 8. Curva de variação do nível do mar. | 44 |
| Figura 9. Curva de variação do nível do mar. | 45 |
| Figura 10. Fluxograma da metodologia. | 48 |
| Figura 11. Amostras de sedimento (BNDO, INCT e SOUZA [2007]). | 54 |
| Figura 12. Classificação do substrato inconsolidado. | 56 |
| Figura 13. Fotografias das amostras com maiores quantidades de carbonato de cálcio (T4P1, T3P1, T2P1 e T1P1), feitas em placas de petri (diâmetro externo: 14,9 cm). | 57 |
| Figura 14. Teores de Matéria Orgânica Total (%) e Carbonato Biodetrítico (%) nas amostras sedimentares superficiais da coleta identificada como INCT. | 58 |
| Figura 15. Gráfico de porcentagem da classificação de Shepard (1954). | 61 |
| Figura 16. Representação espacial da classificação de Shepard (1954) com 7 classes sedimentológicas. | 62 |
| Figura 17. Representação tridimensional da porção sul da Plataforma Continental da Ilha de Santa Catarina. | 64 |
| Figura 18. Representação do parâmetro declividade para a área de estudo. | 65 |
| Figura 19. Área ocupada (%) pelas classes classificadas em Zonas - BTM. | 66 |
| Figura 20. Geomorfologia classificada em Zonas pelo modelo bêntico de terreno. | 67 |
| Figura 21. Área ocupada (%) pelas classes classificadas em Estruturas - BTM. | 68 |
| Figura 22. Geomorfologia classificada em Estruturas pelo modelo bêntico de terreno. | 69 |
| Figura 23. Representação da geomorfologia classificada em Zonas, combinada com a análise sedimentológica. | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 24. Representação da geomorfologia classificada em estruturas, combinada com a análise sedimentológica. | 73 |
| Figura 25. Fluxograma da metodologia seguido para alcançar os objetivos. | 77 |
| Figura 26. Planejamento das linhas de sondagem na Enseada do Pântano do Sul, dividido em dois setores (A e B). | 78 |
| Figura 27. Instalação da base para suporte dos equipamentos. .. | 80 |
| Figura 28. Instalação dos equipamentos na embarcação “Cultura Subaquática”. | 81 |
| Figura 29. Instalação do sensor de movimentos na embarcação. | 81 |
| Figura 30. Esquema dos movimentos associados a embarcação. | 82 |
| Figura 31. Linhas sondadas para realização dos <i>Patch test</i> | 83 |
| Figura 32. Levantamento completo com sistema interferométrico. | 84 |
| Figura 33. Variação do nível da maré nos dias do LH – Baía Sul/Florianópolis. | 85 |
| Figura 34. A: Sem <i>Bottom track</i> ; B: Com <i>Bottom track</i> ; C: Com Filtros. | 86 |
| Figura 35. Passos seguidos para obtenção do fluxo direcional médio de energia em águas rasas. | 88 |
| Figura 36. Representação das marcas onduladas mapeadas na área da enseada do Pântano do Sul. Quadro A: comprimento: 1,20 m e altura: 0,20 m. Quadro B: comprimento: 1,0 m e altura: 0,08 m. Quadro C: comprimento: 1,0 m e altura: 0,06 m. | 90 |
| Figura 37. Representação das manchas escuras mapeadas. | 91 |
| Figura 38. Representação geomorfológica da enseada do Pântano do Sul. | 92 |
| Figura 39. Representação tridimensional da enseada do Pântano do Sul. | 93 |
| Figura 40. Batimetria de detalhe derivada do processamento de dados de interferometria. | 94 |
| Figura 41. Representação esquemática das feições identificadas na enseada do Pântano do Sul. | 96 |
| Figura 42. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul (porção Leste da Zona A) com sistema interferométrico (exagero vertical: 15 m). | 97 |
| Figura 43. Perfil sobre a feição RSD na Zona A do mapeamento. | 98 |
| Figura 44. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul (porção central da Zona A) com sistema interferométrico (exagero vertical: 20 m). | 99 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45. Perfil P2 na porção central da zona A. | 99 |
| Figura 46. Perfil P3 na porção leste da zona A. | 100 |
| Figura 47. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul – (Zona B) com sistema interferométrico (Exagero vertical: 15 m)..... | 101 |
| Figura 48. Perfil P4 no setor sul do mapeamento. | 102 |
| Figura 49. Perfil P5 no setor sul do mapeamento. | 102 |
| Figura 50. Fluxo direcional médio sobreposto as feições identificadas na Enseada do Pântano do Sul. | 103 |
| Figura 51. Mapa síntese representando os processos e estruturas que ocorrem na região estudada. | 107 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Valores utilizados para calcular os índices. | 50 |
| Tabela 2. Teores de Matéria Orgânica Total (%) e Carbonato Biodetrítico (%) nas amostras sedimentares superficiais da coleta identificada como INCT..... | 59 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APA da Baleia Franca** – Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca
- BTM** – *Benthic Terrain Modeler*
- BNDO** – Banco Nacional de Dados Oceanográficos
- CB** – Carbonato Biodetrítico
- CIRAM** – Centro De Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
- DHN** – Diretoria de Hidrografia e Navegação
- DGPS** – *Differential Global Positioning System*
- DOW** – *Downscaled Ocean Waves*
- DP** – *Dark Points*
- EPAGRI** – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- INCT Mar COI** – Instituto Nacional de Ciências Tecnológicas do Mar – Centro de Oceanografia Integrado
- LH** – Levantamento Hidrográfico
- MO** – Matéria Orgânica
- MRU** – *Motion Reference Unit*
- PCI** – Plataforma Continental Interna
- PCSE** – Plataforma Continental Sudeste
- RSD** – *Rippled Scour Depression*
- REMLAC** – Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma continental Jurídica Brasileira
- REVIZEE** – Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
- SB** – *Sorted Bedforms*
- SMC** – *Sistema de Modelado Costero*
- SVL** – Sonar de Varredura Lateral
- TVG** – *Time Variation Gain*
- UGC** – *User Gain Control*

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 27 |
| 1.1 | PERGUNTA DE PESQUISA | 28 |
| 1.2 | HIPÓTESE | 28 |
| 1.3 | OBJETIVO..... | 28 |
| 1.3.1 | Objetivo Geral | 28 |
| 1.3.2 | Objetivos Específicos..... | 28 |
| 2 | CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 29 |
| 2.1 | LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO | 29 |
| 2.2 | ASPECTOS FÍSICOS E OCEANOGRÁFICOS DA ÁREA | 31 |
| 2.2.1 | Geologia e Sedimentologia..... | 31 |
| 2.2.2 | Regime de Ventos | 32 |
| 2.2.3 | Regime de Marés..... | 32 |
| 2.2.4 | Regime de Ondas..... | 33 |
| 2.2.5 | Feições de Fundo | 34 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 36 |
| 3.1 | PROCESSOS COSTEIROS NA PLATAFORMA CONTINENTAL..... | 36 |
| 3.1.1 | As Ondas Gerando Correntes | 36 |
| 3.1.2 | A Maré Gerando Correntes | 36 |
| 3.1.3 | O vento Gerando Correntes | 36 |
| 3.2 | TRANSPORTE DE SEDIMENTOS..... | 37 |
| 3.3 | FORMAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES | 37 |
| 3.4 | PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO ACÚSTICO MARINHO..... | 38 |
| 3.4.1 | Sonares no Mapeamento de Áreas Submersas – Geoacústica | 39 |
| 3.4.2 | Sonografia e Batimetria por Interferometria | 39 |
| 3.5 | ANÁLISE ESPACIAL E MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO | 40 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.5.1 | Modelo Bêntico de Terreno (BTM) | 41 |
| 3.5.1.1 | Interpolação de Dados Batimétricos | 42 |
| 3.5.1.2 | Índice de Posição Batimétrica | 43 |
| 3.5.1.3 | Padronização | 43 |
| 3.5.1.4 | Dicionário de Classificação | 43 |
| 3.5.1.5 | Estruturas e Zonas | 43 |
| 3.6 | PALEOLINHAS DE COSTA | 44 |
| 3.7 | FLUXO MÉDIO DE ENERGIA DE ONDA | 45 |
| 4 | CAPÍTULO I: COMPARTIMENTALIZAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA AO SUL DA ILHA DE SANTA CATARINA | 46 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 46 |
| 4.2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 48 |
| 4.2.1 | Processamento dos Dados Sedimentológicos | 48 |
| 4.2.1.1 | Análise Granulométrica – INCT | 49 |
| 4.2.2 | Processamento dos Dados Batimétricos de Cartas Náuticas 50 | |
| 4.2.3 | Relação entre a classificação BTM e classificação Sedimentar | 52 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 4.3.1 | Aspectos Sedimentológicos Gerais | 53 |
| 4.3.1.1 | Parâmetros Estatísticos | 59 |
| 4.3.1.1.1 | <i>Diâmetro Médio (M_z)</i> | 60 |
| 4.3.1.1.2 | <i>Desvio Padrão (σ_1)</i> | 60 |
| 4.3.1.1.3 | <i>Assimetria (Sk_1)</i> | 60 |
| 4.3.1.1.4 | <i>Curtose (K_G)</i> | 60 |
| 4.3.2 | Classificação Sedimentar de SHEPARD (1954) – INCT, BNDO e Souza (2007) | 60 |
| 4.3.3 | Geomorfologia da Plataforma Continental (BTM) | 63 |
| 4.3.3.1 | Classificação Batimétrica em Zonas (BTM – Zonas) | 66 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.3.3.2 | Classificação Batimétrica em Estruturas (BTM – Estruturas) | 68 |
| 4.3.4 | Relação entre Geomorfologia e Sedimentologia | 70 |
| 4.3.4.1 | Relação da Geomorfologia Classificada em Zonas com a Sedimentologia Classificada de Shepard..... | 70 |
| 4.3.4.2 | Relação da Geomorfologia Classificada em Estruturas com a Sedimentologia Classificada de Shepard..... | 72 |
| 4.4 | CONCLUSÕES..... | 74 |
| 5 | CAPÍTULO II: CLASSIFICAÇÃO DE FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS COM DADOS INTERFEROMÉTRICOS NA ENSEADA DO PANTANO DO SUL, ILHA DE SANTA CATARINA | 75 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO | 75 |
| 5.2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 77 |
| 5.2.1 | Levantamento Hidrográfico (LH)..... | 78 |
| 5.2.1.1 | Planejamento do Levantamento Hidrográfico..... | 78 |
| 5.2.1.2 | Instalação dos Equipamentos na Embarcação..... | 79 |
| 5.2.1.3 | Calibração do Sistema Interferométrico – <i>Patch Test</i> | 82 |
| 5.2.1.4 | Aquisição dos Dados Geoacústicos..... | 84 |
| 5.2.2 | Obtenção e Processamento dos Dados de Maré..... | 85 |
| 5.2.3 | Processamento de Dados Geoacústicos..... | 85 |
| 5.2.3.1 | Processamento de Dados Sonográficos | 85 |
| 5.2.3.2 | Processamento de Dados Batimétricos..... | 86 |
| 5.2.4 | Análise dos Dados Geoacústicos..... | 87 |
| 5.2.4.1 | Identificação e Classificação das Formas de Leito..... | 87 |
| 5.2.4.2 | Geomorfologia da Batimetria de Detalhe..... | 87 |
| 5.2.4.3 | Integração dos Dados Geoacústicos | 87 |
| 5.2.5 | Fluxo Direcional Médio de Energia em Águas Rasas | 87 |
| 5.3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 90 |
| 5.3.1 | Geomorfologia | 92 |
| 5.3.2 | Mapeamento: Zona A | 97 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 5.3.3 | Mapeamento: Zona B | 100 |
| 5.3.4 | Propagação de Ondas - Fluxo de Energia sobre as Feições Sedimentares Identificadas na Enseada do Pantano do Sul..... | 102 |
| 5.4 | CONCLUSÕES | 105 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 106 |
| 6.1 | Síntese dos Resultados e Conclusões..... | 106 |
| 6.2 | Restrições do Trabalho | 108 |
| 6.3 | Sugestões para Trabalhos Futuros..... | 108 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 109 |
| 8 | APÊNDICE..... | 119 |
| 8.1 | APÊNDICE A..... | 119 |
| 8.2 | APÊNDICE B | 120 |
| 8.3 | APÊNDICE C | 121 |
| 8.4 | APÊNDICE D..... | 122 |

1 INTRODUÇÃO

A Plataforma Continental brasileira inicia na linha de costa alcançando a média de 80 km de extensão, geralmente com inclinação suave até atingir cerca de 200 m de profundidade. Esta região exerce função de extrema importância no ambiente marinho, com área de extração de recursos pesqueiros, petróleo, pacotes sedimentares, entre outras atividades. São regiões consideradas complexas por sua intensa dinâmica e regidas principalmente por influência de ondas, marés e correntes que promovem mudanças em diversas escalas de tempo (SHORT, 1999).

No cenário de interação das características do leito com os fluxos energéticos marinhos (ondas e correntes), feições sedimentares se formam, provocando o transporte sedimentar de partículas, que dependem das condições energéticas das ondas, da profundidade e do tamanho de grão (SHORT, 1983). Sendo que, as partículas saem do estado de equilíbrio apenas quando a energia dos fluidos supera as forças dos grãos em inércia (LEWIS, 1984). Portanto, o tamanho de grão e a energia presente no ambiente são parâmetros fundamentais para o entendimento do sistema.

Juntamente com a importância econômica e ecológica dessas áreas está o forte investimento na corrida do desenvolvimento de sensores de baixo custo e alto desempenho, capazes de obter uma grande quantidade de informações em pouco tempo. Para a identificação da superfície de fundo são comumente utilizados os métodos indiretos de investigação com uso de equipamentos geoacústicos (sonares) que operam emitindo um sinal sonoro em alta frequência (SOUZA, 2006). Esses sistemas proporcionam a visualização de imagens auxiliando na detecção precisa do que há no leito, como também medidas batimétricas precisas.

Devido a importância de investigar todos os aspectos do ambiente e entendê-los, este trabalho tem como objetivo identificar formas e feições do leito submerso nas porções internas da Plataforma Continental, buscando catalogar os padrões geomorfológicos que refletem na distribuição sedimentar. Partindo destes princípios, este estudo busca poder alimentar com essas informações um agrupamento de dados sistematizado com propósito de estabelecer um modelo de fundo para a Enseada do Pântano do Sul em conjunto com parte da plataforma média de Santa Catarina.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Quais são as feições ou padrões geomorfológicos que se esperam encontrar?

1.2 HIPÓTESE

A evolução quaternária e os processos atuantes na plataforma continental interna próxima à porção sul da Ilha de Santa Catarina aparentemente criaram padrões geomorfológicos complexos que devem refletir na distribuição sedimentar local.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

Interpretar as características morfosedimentares de um trecho da Plataforma Continental Interna de Santa Catarina, ao Sul da Ilha de Santa Catarina, aplicando técnicas de classificação dos tipos de fundo a fim de contribuir com a identificação de feições pertinentes à dinâmica atual.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) - Analisar e descrever amostras de sedimento de superfície de fundo utilizando um analisador de partículas por difração de luz;
- 2) Classificar os tipos de fundo de acordo com as propostas Shepard (1954) e gerar um mapa sedimentológico de parte da área estudada;
- 3) Realizar coleta de dados geocústicos com utilização de um interferômetro, processar e analisar a batimetria e sonografia;
- 4) Caracterizar o relevo de fundo da área de estudo a partir da sua compartimentação em diferentes zonas e estruturas geomorfológicas aplicando a ferramenta *Benthic Terrain Modeler* (BTM);

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

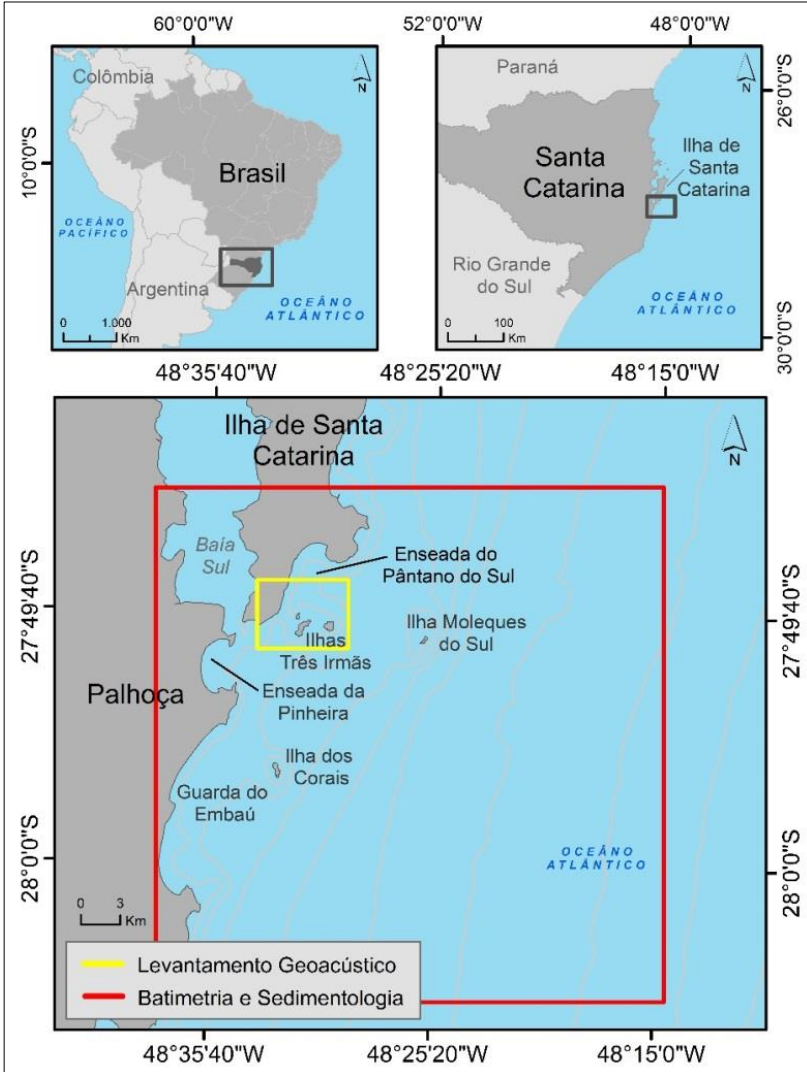
2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de desenvolvimento do estudo está localizada na Plataforma Continental Interna do estado de Santa Catarina, Brasil, situada no extremo sul da Ilha de Santa Catarina, nos municípios de Palhoça e Florianópolis, entre os paralelos de 27°46' e 28°00' de latitude Sul e entre os meridianos 48°21' e 48°33' de longitude Oeste (Figura 1).

Dois setores foram investigados separadamente nesta área. O primeiro setor identificado na Figura 1 (batimetria e sedimentologia com contorno maior e vermelho) encontra-se até 22 km da linha de costa, ou seja, dentro dos limites territoriais do estado de Santa Catarina, onde o estado exerce controle pleno sobre a massa líquida bem como sobre o leito e subsolo deste mar (SOUZA, 1999). A área se estende até a isóbata 60 metros na Plataforma Continental Catarinense, limitado ao norte pela Ilha Moleques do Sul e a oeste pela Ilha dos Corais.

O segundo setor estudado está localizado na Enseada do Pântano do Sul, região que está inserida e é limite norte da APA da Baleia Franca. A área investigada é delimitada ao sul pelas Ilhas Irmã Pequena, Irmã do Meio e Irmã de Fora, ou Ilhas Três Irmãs. A região fica ainda, a NE da Enseada da Pinheira e da desembocadura da Baía Sul. O levantamento é identificado na Figura 1 (levantamento geoacústico) e varia entre as isóbatas de 5 e 25 metros.

Figura 1. Localização da área de estudo. Datum: WGS 1984 - Zona 22 Sul.



2.2 ASPECTOS FÍSICOS E OCEANOGRÁFICOS DA ÁREA

2.2.1 Geologia e Sedimentologia

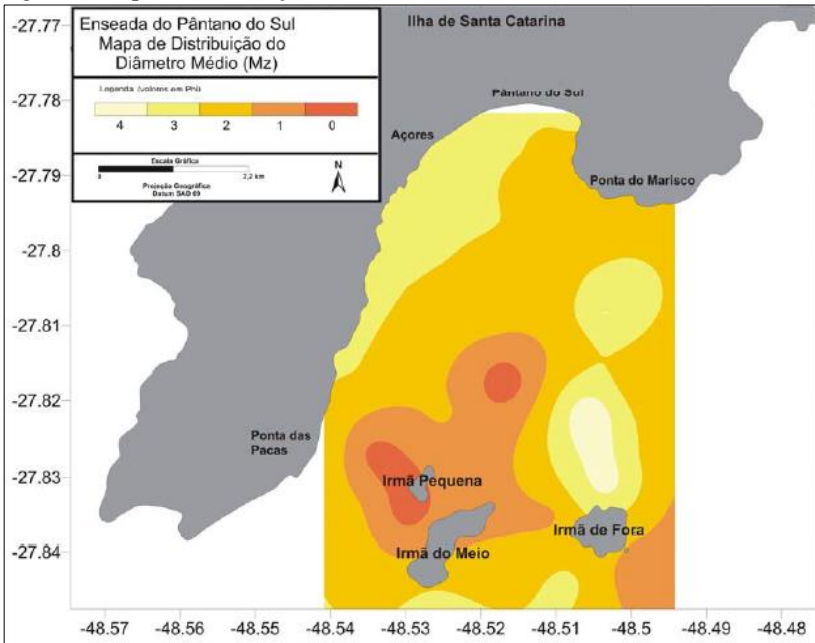
De acordo com os projetos REMPLAC e REVIZEE a Plataforma Continental Brasileira é subdividida em quatro regiões. Por ser de interesse deste trabalho o setor sul, adjacente a Ilha de Santa Catarina, a região aqui detalhada será a da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) do Brasil, que vai de Cabo Frio (RJ) ao Cabo de Santa Marta (SC). Ao longo desta área a largura pode variar entre 50 a 230 km, apresentando comumente baixa declividade, onde as feições de destaque são paleolinhas de costa por conta do aumento abrupto da declividade em pontos específicos (ZEMBRUSKI, 1979; VITAL *et al.*, 2005).

Os movimentos na Plataforma são controlados, em grande parte, pelos ventos, pela ação da Corrente do Brasil e pelas marés (ROSSI-WONGTSCHOWSK & MADUREIRA, 2006). Segundo Corrêa & Villwock (1996), o mapa textural da Plataforma Continental Sul apresenta oito províncias texturais que abrangem os sedimentos terrígenos de areia (média a fina) e argila siltica. As porções arenosas encontradas na região são depósitos relíquias, que tiveram sua formação enquanto a plataforma estava exposta no decorrer da regressão pleistocênica e foram retrabalhados durante a transgressão holocênica (MARTINS *et al.*, 1972).

Ao longo da plataforma externa, os mesmos autores apontam para a presença de bioclastos carbonáticos nos pacotes arenosos, sugerindo alta energia enquanto eram depositados. Já na plataforma interna de Florianópolis concentrações de sedimentos areno-argilosos são identificados e aos finos é dada a hipótese de origem fluvial, formando fácies mistas.

Passando da escala geral da Plataforma Continental Média para a Plataforma Continental Interna, a região da Enseada do Pântano do Sul é caracterizada predominantemente pela presença de sedimentos arenosos (areias finas [4 a 3 phi] a grossas [2 a 0 phi]) com baixa ocorrência de sedimentos finos (Figura 2). Atribui-se a isso a alta hidrodinâmica do local, sujeito a ondulações vindas de S e SE, e aos regimes de marés (SOUZA, 2007). A relação entre os fenômenos meteorológicos e processos oceanográficos resulta na dinâmica costeira, ocasionando mudanças na morfologia de leitos subaquáticos e praias arenosas.

Figura 2. Mapa de distribuição do diâmetro médio.



Fonte: Adaptado de Souza (2007).

2.2.2 Regime de Ventos

O vento em contato com a superfície do oceano transfere energia para este, gerando as chamadas correntes geradas por ventos (WRIGHT, 1995), sendo que, da superfície ao leito marinho a velocidade da corrente tende a diminuir. Na Plataforma Sul Brasileira a circulação varia sazonalmente. No verão a Corrente do Brasil (quente - 21 a 26°C - e salina - 34 a 36%) é quem predomina na região por conta do vento nordeste. Já no inverno a atuação da Corrente das Malvinas (fria - 12 a 14°C) domina praticamente toda a plataforma Sul pela atuação das massas Polar Marítima e Tropical Marítima do Atlântico (NIMER, 1989).

2.2.3 Regime de Marés

Outra corrente que contribui para a formação de formas de fundo são as correntes de maré. Sendo que as marés são ondas geradas no oceano, com comprimento de onda longa e amplitudes pequenas em

águas profundas, porém na plataforma a amplitude aumenta, alterando a velocidade de propagação e gerando as correntes de maré (PUGH, 1996).

Essas correntes, dependendo de sua magnitude, tem a capacidade de gerar sensível transporte de sedimento. Estas correntes paralelas a costa, são frequentemente controladas pela maré, podendo passar por amplificações com a combinação de correntes geradas por ventos e pela batimetria (WRIGHT, *et al.*, 1982). A região estudada apresenta o regime de micromaré-mista com predomínio semi-diurno (SCHETTINI, 2002), sendo que podem variar de 0,4 m em marés de quadratura a 1,2 m em marés de sizígia, podendo alcançar 1,0 m acima do previsto quando combinadas com marés meteorológicas (TRUCCOLO *et al.*, 2006).

2.2.4 Regime de Ondas

O movimento das ondas é capaz de gerar correntes, que por sua vez tendem a movimentar o sedimento e alterar a forma da superfície dos fundos marinhos (VAN RIJN, 1998). A Região Sul do Brasil possui os regimes de ondas controlados pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela passagem de frentes frias sinóticas, sendo que no período de inverno as ondas são mais energéticas (PIANCA *et al.*, 2010). Alves & Melo (2001) apontam quatro estados de mar predominantes para o estado de Santa Catarina, são estes: lestadada, ondulações de Sudeste, vagas de Sul-Sudeste e vagas de Leste-Nordeste.

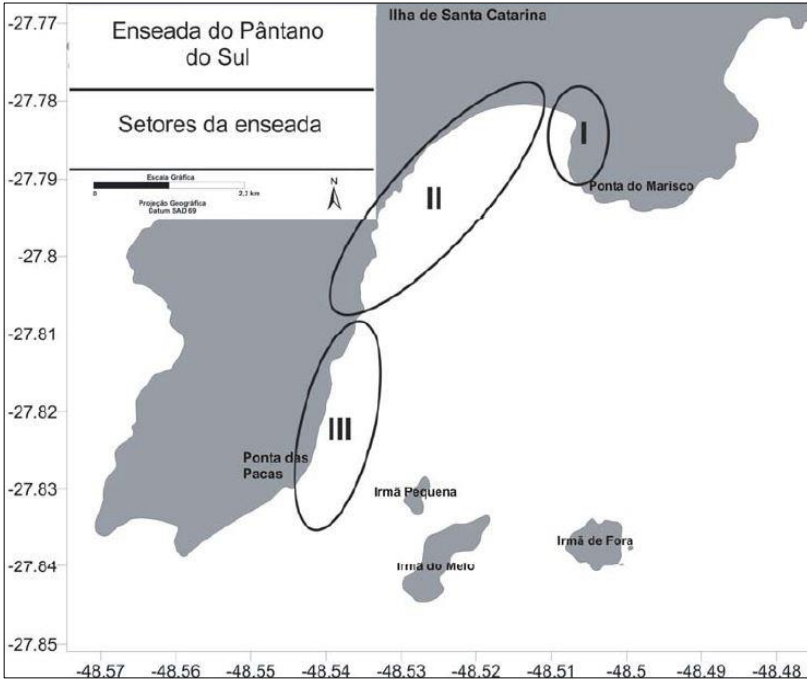
No estudo de Araujo *et al.* (2003), os autores descrevem um espectro de ondas bimodal formado por ondas (vagas) vindas de leste com período de 8 s e altura significativa de 1,25 m na primavera e verão. Ondas (*swells*) provenientes do quadrante sul com período de 12 s e altura significativa de 1,5 e 2,0 m no outono e inverno.

No estudo de Souza (2007) o autor propõe para a Enseada do Pântano do Sul três setores distintos, de acordo com a exposição às ações das ondas incidentes sobre a enseada (Figura 3). Os setores foram definidos a partir da equação de Hallermeier (1981), sendo que a profundidade de fechamento é de 15 m para ondas médias e 19 m para as maiores. A partir desses resultados ele divide a área em Porção I, uma porção mais abrigada e semi-protegida da energia das ondas, Porção II, região mais exposta a dinâmica do ambiente, e Porção III, área protegida da ondulação mais significativa (S/SE) que alcança a região.

Oliveira *et al.* (2008) estudaram a variação morfológica de perfis praias na enseada do Pântano do Sul e verificaram que quanto mais exposta a ação das ondas, a praia alterou mais em relação ao estoque sedimentar. Constataram também que ondulações de sul-sudeste com

período de pico de onda acima de 10 s e altura significativa acima de 4 m, em águas profundas, gera erosão da porção subaérea da praia. A ação de ondas de baixa energia na praia geralmente acarreta deposição sedimentar da praia subaérea.

Figura 3. Setores da enseada do Pântano do Sul.



Fonte: Souza (2007)

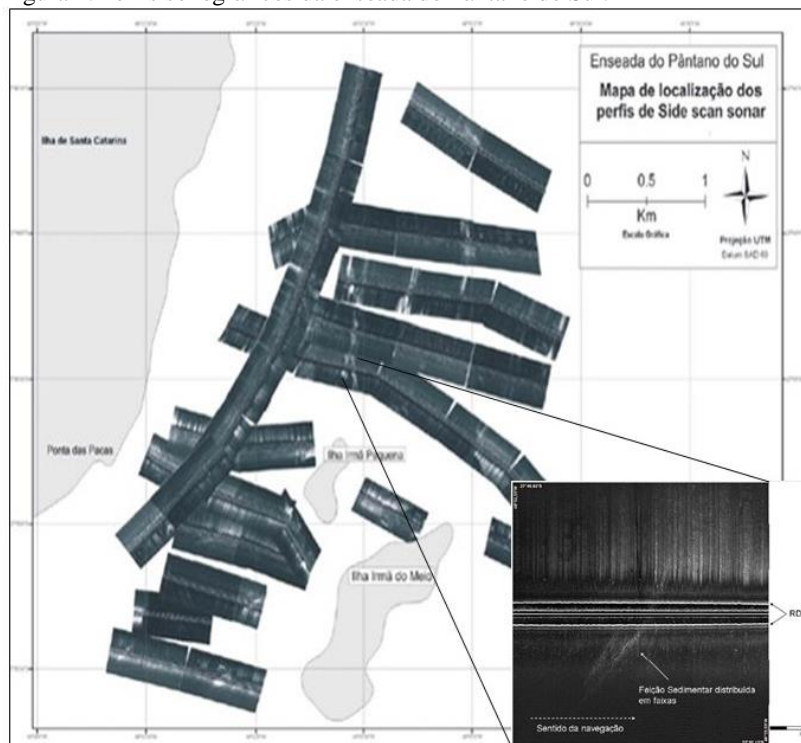
2.2.5 Feições de Fundo

O imageamento feito por Souza (2007) na enseada do Pântano do Sul utilizando equipamentos de alta frequência, identificou diferentes zonas texturais para a região estudada (Figura 4). As formas e composição do leito relacionadas as amostras de fundo possibilitaram a identificação de padrões em relação ao nível de reflectância dos dados.

As *Rippled Scour Depressions* (CACCHIONE, et al., 1984) ou *Sorted Bedform* (MURRAY et al., 2004) são um exemplo das formas de fundo configuradas nesta área e identificadas por Souza (2007). Neste trabalho, o autor ainda realizou coletas de sedimento superficial e

correlacionou com as feições encontradas sobre o leito, fazendo com que se obtivesse validação da constatação no imageamento através do sonar.

Figura 4. Perfis sonográficos da enseada do Pântano do Sul.



Fonte: Adaptado de Souza (2007).

Nas manchas mais claras observadas ao norte da Ilha Irmã do Meio no mosaico (Figura 4) gerado por Souza (2007), estão as marcas onduladas catalogadas por ele como RSD. Os autores que propuseram essa classificação (CACCHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004) associam a elas um ambiente de fluxo intenso de *cross-shore*, o que pode ser verificado na região da enseada do Pântano do Sul (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PROCESSOS COSTEIROS NA PLATAFORMA CONTINENTAL

Os processos costeiros que atuam na Plataforma Continental são capazes de modificar a zona costeira, linha de costa e o leito marinho. Dessa forma, para entender a formação das características do fundo é preciso compreender os sistemas atuantes de ondas, marés e ventos que governam essa região (DEAN & DALRYMPLE, 1984).

3.1.1 As Ondas Gerando Correntes

O transporte de sedimentos pelas correntes associadas as ondas são os mais significativos. As correntes podem ser longitudinais a costa, transportando pacotes sedimentares em suspensão paralelamente a costa. A direção das correntes está relacionada com os ventos predominantes e o clima de ondas. As correntes geradas pelas ondas também podem ser perpendiculares a costa, e assim como as longitudinais, também transportam grandes quantidades de sedimentos (VAN RIJN, 2007). Os parâmetros de intensidade e tamanho das correntes podem variar com relação ao clima de ondas que incide no ambiente (VAN RIJN, 2007).

3.1.2 A Maré Gerando Correntes

Os movimentos oceânicos com periodicidade regular e definidos pela subida e descida do nível do mar, são chamados de marés. As marés ocorrem devido a atração gravitacional pela Lua e pelo Sol sobre o mar. A corrente de maré é a componente horizontal do movimento da partícula, enquanto a maré é a componente vertical. As correntes de maré têm uma característica rotatória, em virtude da interação entre as forças astronômicas e a influência da rotação terrestre (PUGH, 1996; ANDRADE, TOLDO & NUNES, 2016).

3.1.3 O vento Gerando Correntes

Os ventos são os principais agentes da circulação das águas, condicionando a formação de correntes e influenciando a morfologia de fundo dos ambientes marinhos. A transferência de momento entre a atmosfera e oceano se inicia na formação de ondas capilares que se propagam na direção do vento, desenvolvendo correntes devido a ação prolongada e contínua do vento sobre a superfície (WRIGHT, 1995). A

ação do vento na superfície do fundo oceânico influencia em média até 50 metros de profundidade.

3.2 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

As plataformas costumam ser sustentadas por sequências sedimentares marinhas espessas, em geral, sendo compostas por lamelas fluviais. Na praia submersa inferior, ou zona de transição para plataforma continental média (entre -20 e -50 metros), as correntes são controladas por gradientes de pressão e forças originadas pelo vento em combinação com as forças de Coriolis (WRIGHT, 1995; VAN RIJN, 1998).

As partículas de sedimento são transportadas por tensões no fundo causadas pelo movimento do fluido. As tensões são responsáveis por iniciar o movimento das partículas, para que estas sejam remobilizadas. As tensões devem superar a inércia das partículas depositadas, atingindo valor crítico para iniciar a movimentação dos grãos (parâmetro adimensional de Shields).

De acordo com o diagrama de Hjulström, a relação entre tamanho de grão e velocidade das correntes, aponta se determinados tamanhos de partículas vão ser erodidas, transportadas ou depositadas. Lewis (1984) relaciona o tamanho de grão com velocidade de corrente e apresenta uma série de formas de leito que podem ser formadas através da combinação de velocidades com diâmetros médios específicos.

3.3 FORMAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES

As formas do fundo marinho são moldadas em material inconsolidado, abrangendo desde sedimentos muito finos até os muito grossos. Essas estruturas levam em conta a granulometria do depósito sedimentar, velocidade e frequência dos fluxos atuantes na região (ASHLEY, 1990). Os processos costeiros envolvendo granulometria, direção das ondas, ventos e magnitude das marés é que vão definir os tipos de fundo encontrados em cada ambiente (MOSCON & BASTOS, 2010).

Diversos estudos destacam as feições sedimentares *rippled scour depressions*, identificadas primeiramente por Cacchione *et al.* (1984) e na sequência renomeadas de *sorted bedforms*, por Murray e Thieler (2004). Estas formações foram definidas como depressões alongadas de baixo relevo, onde dentro das depressões eram encontradas marcas onduladas com alturas de até 40 cm e comprimentos de onda de até 1,7 m. (MOSCON & BASTOS, 2010; BELLEC *et al.*, 2010; COCO, MURRAY

& GREEN, 2007; DAVIS *et. al.*, 2013; FERRINI & FLOOD, 2005; GARNAUD *et. al.*, 2005; GOFF *et. al.*, 2005; GOLDSTEIN *et. al.*, 2014; GREEN *et. al.*, 2004; PHILLIPS *et. al.*, 2007; SOUZA, 2007; PORPILHO, 2015).

3.4 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO ACÚSTICO MARINHO

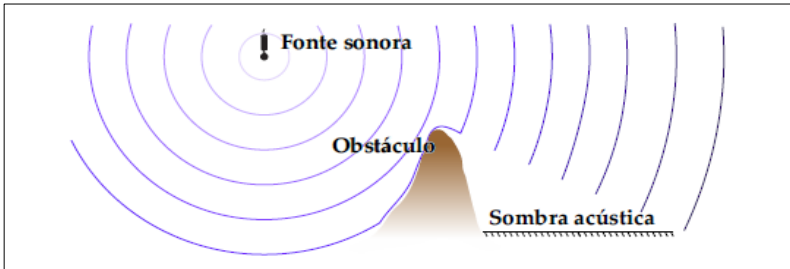
O som é uma onda que transporta energia, com flutuações de pressão em um meio compressível. E dessa forma pode ser representada pela equação geral da onda, que leva em conta a conservação da massa, primeira lei da termodinâmica e a conservação da quantidade de movimento (KINSLER *et al.*, 1982).

A propagação da onda se dá através da interação das partículas que integram o meio, alterando a velocidade de propagação. A velocidade do som na água é imprescindível para obter uma exata propagação da onda. No mar esse parâmetro requer características como salinidade, temperatura e profundidade do local.

A propagação de ondas sonoras no meio marinho é amplamente utilizada para investigação do leito e subsuperfície. Se a frequência utilizada for alta, ao atingir o leito a onda sonora interage com esse fundo e reflete, por conta da diferença de impedância acústica entre os diferentes meios de propagação.

A parte da onda que retorna na mesma direção em que esta foi emitida se chama retroespalhamento (ZHAO *et al.*, 2016). O efeito de difração e sombreamento acústico também deve ser considerado nos trabalhos de mapeamento, visto que, quando um objeto é maior que o comprimento de onda utilizado, a energia refletida leva em conta parte do objeto, por consequência formará uma sombra (Figura 5). Esta sombra pode ser utilizada para diagnosticar as medidas dos objetos no fundo.

Figura 5. Difração em meio submarino.



Fonte: Ristow (2015).

3.4.1 Sonares no Mapeamento de Áreas Submersas – Geoacústica

A geoacústica é uma parte da ciência que se dedica a investigação de ambientes submersos em pesquisas naturais ou das necessidades da sociedade, com intuito de conhecer, explorar e explorar os recursos (SOUZA, 2006). Seja na zona costeira (até 30 metros) ou em áreas oceânicas, as técnicas de reconhecimento do que se encontra a baixo da coluna de água receberam maior impulso durante a Segunda Guerra Mundial e Guerra Fria, alcançando métodos avançados de pesquisa na área.

Para a investigação indireta existem dois grupos de sonares, os passivos que recebem informações acústicas (usualmente utilizado no reconhecimento de baleias ou nos serviços militares), e os sonares ativos que requerem a emissão de sinal acústico (o sinal reflete no alvo e retorna gerando informações).

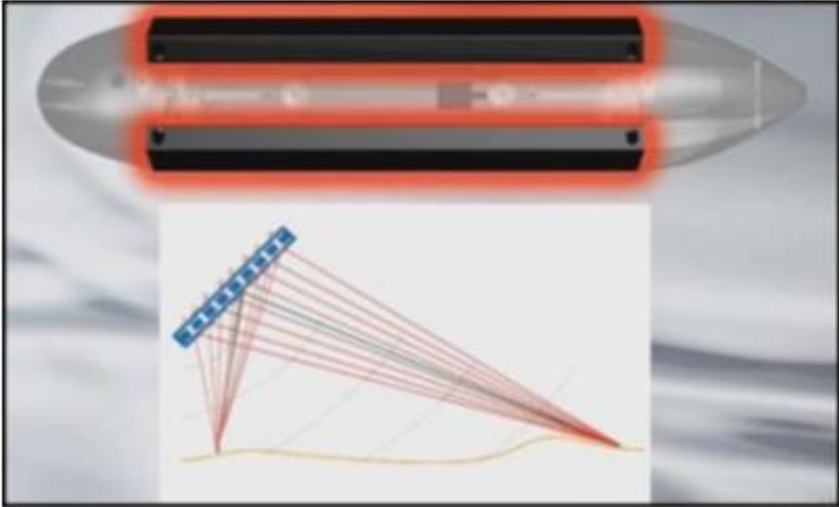
A medição amplamente utilizada pelo mapeamento do fundo é a batimetria. Técnica que determina a profundidade através das ondas acústicas direcionadas ao leito oceânico. Outra técnica utilizada no mapeamento de superfícies é a medição da intensidade acústica, possibilitando a montagem de mosaicos a partir das respostas reflexivas do fundo.

3.4.2 Sonografia e Batimetria por Interferometria

Dentro das inúmeras técnicas e possibilidades de equipamentos geoacústicos disponíveis, neste trabalho foi abordado o método de Interferometria ou Sonar Batimétrico Diferenciador de Fases (Figura 6), o qual utiliza dois emissores e receptores. Através da diferença de fase entre esses receptores é possível estimar a inclinação da onda incidente no conjunto e assim inferir dados de profundidade (HAYES & GOUGH, 2009).

A partir da alta frequência utilizada (540 kHz), dois resultados são obtidos da interferometria, a batimetria (tempo de ida e volta do sinal acústico emitido) e a sonografia (intensidade do retorno do sinal acústico).

Figura 6. Interferômetro EdgeTech – 4600 (540 kHz).



Fonte: Adaptado de Manual EdgeTech 4600 (2012).

3.5 ANÁLISE ESPACIAL E MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

A análise espacial permite mensurar atributos e verificar relações considerando a localização espacial do fenômeno e assim busca identificar padrões. Esta análise é um conjunto de técnicas que visam o processamento eletrônico de dados que tenham um caractere espacial, sendo possível a geração de informação geográfica (DAVIS & CÂMARA, 2001). Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta de gerenciamento e análise de dados espacializados. Os SIG's desempenham funções básicas permitindo a coleta, edição, manipulação, análise e visualização de dados georreferenciados, além dos recursos de produção cartográfica, incluindo relatórios e gráficos (CALAZANS & DOMINGUES, 2007).

Uma das ferramentas utilizadas no SIG são as técnicas matemáticas de se encontrar valores médios entre os valores discretos de uma função, a interpolação. Um princípio básico desta técnica é de que pontos mais próximos tendem a ter características mais semelhantes do que pontos mais distantes. Entre os métodos existentes, a interpolação de dados facirológicos através do método do Vizinho Natural (VN) apresenta bom ajuste das informações, pois o algoritmo apresenta alta fidelidade aos dados originais e alta velocidade de computação (LANDIM, 2000).

A definição de Vizinhos Naturais é dada como dois locais cujas células de Voronoi compartilham uma aresta comum. Este método utiliza a triangulação de Delaunay (método que estabelece triângulos dentro de uma representação de pontos) e o diagrama de Voronoy, procurando descobrir uma vizinhança mais apropriada para obter a altitude de um dado ponto.

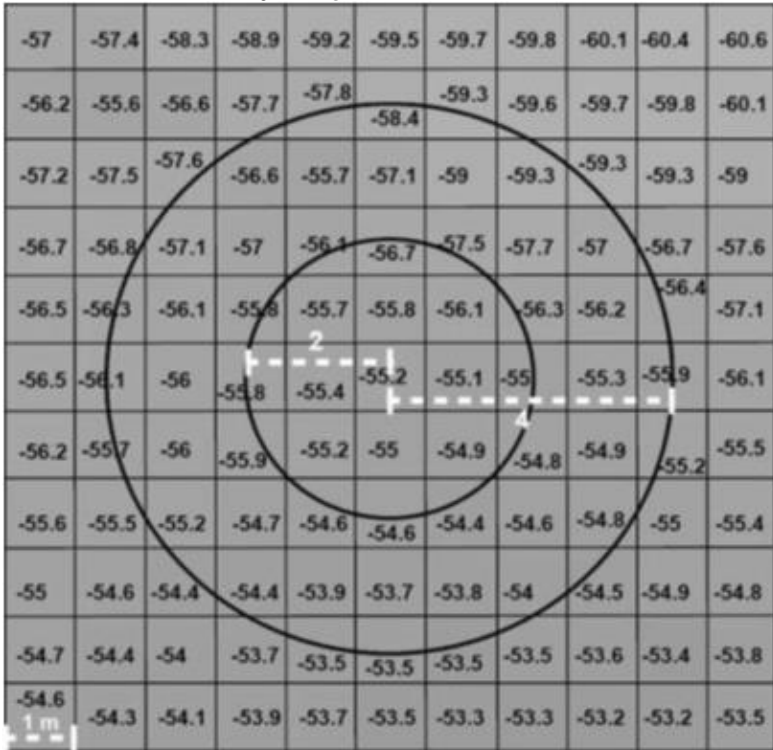
3.5.1 Modelo Bêntico de Terreno (BTM)

O modelo bêntico de terreno surgiu da lacuna de representar dados de relevo submerso que servissem para identificar possíveis agrupamentos bentônicos. O modelo foi desenvolvido como parte de uma colaboração entre *Davey Jones' Locker Seafloor Mapping e Marine GIS Laboratory*, do Departamento de Geociências da Universidade do Estado do Oregon e o *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center* (LUNDBLAD *et al.*, 2006).

Para rodar o BTM, o programa necessita de um Modelo Digital de Terreno (MDT). Por sua vez, a batimetria é condição para ser inserida como MDT. Um Índice de Posicionamento Batimétrico (BPI), é gerado a partir de uma função de análise de vizinhança do MDT (Figura 7). Esta análise pretende avaliar dentro de uma área estabelecida, as diferenças de elevação entre um ponto focal e a média das elevações das células que estão próximas (LUNDBLAD, 2004).

As células com valores positivos corresponderão a regiões mais altas e as células com valores negativos corresponderão a áreas mais baixas. Os valores iguais ou próximos a zero serão associados às áreas planas. As estruturas podem ser subdivididas em até 13 classificações diferentes, enquanto que as zonas, genericamente, em até 4 classificações (LUNDBLAD *et al.*, 2006).

Figura 7. Exemplo de como o Índice de Posição Batimétrica pode ser obtido da batimetria. Onde a resolução do *grid* é de 1 metro.



Fonte: Lundblad *et. al.*, (2006).

3.5.1.1 Interpolação de Dados Batimétricos

Os dados de entrada do modelo são dependentes da batimetria, assim o modelo requer que esta seja inserida na forma de um MDT. Para isto deve ser obtida uma superfície interpolada utilizando o melhor interpolador possível para a distribuição dos dados, sendo que quanto maior a gama de dados coletados e melhor sua geometria, mais preciso será o resultado obtido com o processamento do modelo.

3.5.1.2 Índice de Posição Batimétrica

Dois conjuntos de dados de BPI são criados em diferentes escalas durante o processo de classificação bêntica do terreno. Uma nomeada de Escala Detalhada (*Fine Scale* – F-BPI), onde é feita uma menor análise de vizinhança que permite classificar mais detalhadamente as feições na paisagem bêntica, e a Escala Geral (*Broad Scale* – B-BPI), onde é feita uma maior análise de vizinhança, identificando regiões ou áreas mais gerais na paisagem bêntica.

3.5.1.3 Padronização

Uma vez criado o BPI nas diferentes escalas o próximo passo no processo de classificação do terreno bêntico é a padronização (*Standardize*) dos valores dos conjuntos de dados *raster*, um recurso utilizado quando se deseja comparar a distribuição das variáveis para unidades diferentes. Padronizar as variáveis implica trazê-las para uma mesma ordem de grandeza.

3.5.1.4 Dicionário de Classificação

Realizado o processo de padronização o próximo passo é gerar um dicionário de classificação baseado nos parâmetros dos índices de posição batimétrica (F-BPI & B-BPI) e no mapa de declividade. Essa classificação resultará na distribuição de estruturas e zonas da camada bêntica. O dicionário de classificação é um arquivo que permite que os usuários apliquem um esquema da classificação da paisagem bêntica do terreno ao processo da classificação, ou criar seu próprio esquema. Estes parâmetros ditarão como cada classe da paisagem bêntica do terreno é definida.

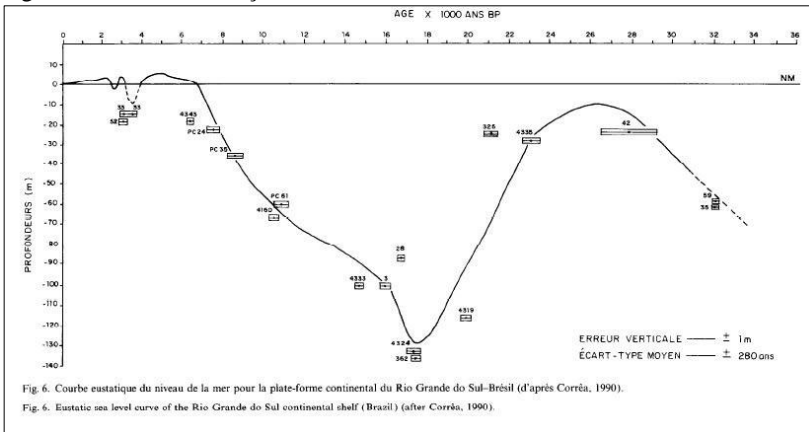
3.5.1.5 Estruturas e Zonas

A classificação em nível de zonas é a caracterização do fundo marinho baseado nos valores da escala geral com os valores de inclinação. Já a classificação em estruturas, combina os valores da escala detalhada (*fine*) com a escala geral (*broad*), valores de inclinação e profundidade.

3.6 PALEOLINHAS DE COSTA

Durante o Quaternário ocorreram as maiores flutuações do nível do mar por conta das expansões e retrações das calotas polares (COWELL & THOM, 1994). Compreender os diferentes níveis da evolução do mar requer a compreensão das estruturas sedimentares presentes na planície costeira e na plataforma continental adjacente. Nas plataformas continentais não tectônicas, o sistema litorâneo ficou estabelecido pela maior parte do Quaternário, entre 25 e 75 m de profundidade. Na região Sul do Brasil a máxima transgressão está a 8 ± 2 m (~ 120.000 anos A.P) acima do nível do mar atual (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995-a). Para a máxima regressão Corrêa (1996) aponta 130 m (~ 18.000 anos A.P) (Figura 8).

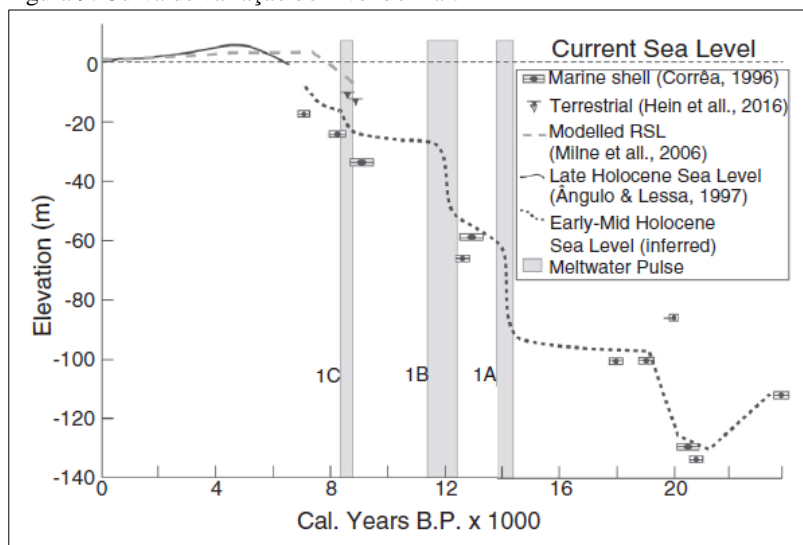
Figura 8. Curva de variação do nível do mar.



Fonte: Corrêa (1996).

Cooper *et al.* (2016), sugeriram uma atualização para a curva da variação do nível do mar (Figura 9). Apontaram três eventos de subida rápida do nível do mar e os relacionaram com os pulsos ocasionados pela entrada de água de degelo nos oceanos.

Figura 9. Curva de variação do nível do mar.



Fonte: Cooper *et al.*, (2016).

3.7 FLUXO MÉDIO DE ENERGIA DE ONDA

A energia transferida comumente da atmosfera para os oceanos gerando ondas é continuamente transferida através destas, viajando longas distâncias até serem totalmente dissipadas. O fluxo de energia gerado é uma taxa na qual a energia total é transmitida na direção normal a propagação das cristas de onda. Esse fluxo considera a energia do espectro de onda na direção de propagação e a velocidade do grupo de ondas, decompondo o fluxo em coordenadas cartesianas e obtendo-se o ângulo de direção do fluxo de energia (HOLTHUIJSEN, 2007).

Conhecendo os parâmetros de fluxo de ondas e direção, associado a informações sobre granulometria do ambiente, é possível compreender um pouco melhor as estruturas sedimentares que se encontram no leito e inferir na formação destas feições.

4 CAPÍTULO I: COMPARTIMENTALIZAÇÃO DA PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA AO SUL DA ILHA DE SANTA CATARINA

4.1 INTRODUÇÃO

Compreender a geomorfologia é buscar entender a estrutura do leito oceânico, composição e história dos sedimentos presentes na área a ser investigada. Nesse contexto, a Plataforma Continental Sudeste do Brasil com suas peculiaridades dentre as morfologias das outras plataformas brasileiras, tem como destaque os registros de paleolinhas de costa, que correspondem a oscilações significativas do nível médio do mar (SUGUIO, 1999; ANGULO & SUGUIO, 1995; BIGARELLA, 1965). Algumas explicações são apontadas para a causa dessas flutuações, variações nos volumes das bacias oceânicas em decorrência da tectônica de placas, oscilações nos volumes de água das bacias oceânicas, a partir das glaciações e deglaciações e por conta das deformações do leito oceânico como efeito de causas gravitacionais (SUGUIO & MARTIN, 1978).

Durante o Quaternário, momento marcado por alternância de períodos glaciais e interglaciais, e com flutuações do nível médio do mar, modificando conseqüentemente transgressões e regressões na linha de costa, existe uma fase de estabilização de 32 e 45 metros de profundidade delineado como causa o aumento da velocidade de subida alinhado com um paleoclima mais ameno para a época (CORRÊA, 1996). Já, a Plataforma Sul moderna é dominada por ondas e tempestades, dessa forma a remobilização e dispersão dos sedimentos se dá de forma sazonal, acompanhando as flutuações energéticas do regime hidrodinâmico (CORRÊA & VILWOCK, 1996).

Nesse contexto, propor um modelo simplificado requer entender as principais forças que atuam no sistema para assim poder relacionar e explicar o funcionamento do ambiente. Através do processo de interpolação de dados batimétricos é possível se obter produtos de alta qualidade e assim identificar as principais formas do leito marinho. Para analisar estes ambientes foi criada a extensão *Benthic Terrain Modeler* (BTM) da plataforma ArcGIS, constituída por um conjunto de rotinas de análise espacial voltadas à caracterização das formas de relevo submarino (LUNDBLAD, 2006). O BTM é uma ferramenta que permite que se identifique diferentes setores da camada da superfície do fundo, tendo por base dados de natureza batimétrica.

Ainda sobre o modelo, a associação dos dados resultantes deste, com informações sedimentológicas e da medida da coluna de água, pode nortear um entendimento mais exato sobre a área e também colaborar na estruturação de programas de gestão e delimitação de unidades de conservação marinhas (LUNDBLAD, 2006). Esta metodologia já foi aplicada, pioneiramente, com êxito, na Samoa Americana (LUNDBLAD, 2004; LUNDBLAD *et al.*, 2006), e em outros locais, como por exemplo, na região da América Central (IERODIACONOU *et al.*, 2006), em três Unidades de Conservação no Brasil, Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha, Parque Nacional Marinho em Abrolhos e Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (PEREIRA, 2016; PEREIRA & BONETTI, 2018) e na Plataforma Continental de Santa Catarina – Brasil (MUSSI, 2017).

Dessa forma, o objetivo deste capítulo visa descrever e interpretar as características morfológicas de um trecho da Plataforma Continental Interna ao Sul da Ilha de Santa Catarina, aplicando técnicas de classificação das formas de fundo com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) unindo dados batimétricos e sedimentológicos, afim de investigar a área quanto a sua geomorfologia.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 10 apresenta a metodologia selecionada para processar dados de duas naturezas diferentes. O primeiro foi o processamento de amostras sedimentares superficiais, seguidas do processamento da batimetria. Por fim, as informações foram relacionadas para propor um modelo morfológico para área.

Figura 10. Fluxograma da metodologia.



4.2.1 Processamento dos Dados Sedimentológicos

Neste trabalho foram utilizados dados sedimentológicos de diferentes fontes. A análise de classificação do fundo levou em conta as porcentagens de cascalho, areia, silte e argila de cada conjunto de dados. O primeiro conjunto de dados foi adquirido no Laboratório de Oceanografia Costeira, obtidos através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), onde são disponibilizados dados processados de diversas campanhas e analisados 20 pontos desta fonte. O segundo conjunto de dados foi obtido de Souza (2007), que coletou e processou 32 amostras na área da Enseada do Pântano do Sul. O terceiro e último conjunto de dados, foram coletados pelo projeto INCT, onde 12 amostras da superfície do fundo foram adquiridas, processadas e analisadas neste trabalho. As amostras de cada fonte foram avaliadas separadamente e em seguida foram unidas em um mesmo conjunto para análise sedimentológica.

4.2.1.1 Análise Granulométrica – INCT

O perímetro coberto pelo levantamento foi de 47,72 km e área de 205 km². As 12 amostras foram coletadas no âmbito do projeto INCT na Comissão: Geodiversidade/Biodiversidade na Costa de SC, onde o cruzeiro operou no verão de 2015. As coletas foram realizadas com o equipamento Box Corer de volume 18,7 cm³ e o navio de operação foi o Atlântico Sul. Partindo da isóbata de 35 m até alcançar 60 m de profundidade na Plataforma Continental ao sul da Ilha de Santa Catarina. Os pontos fornecidos pelas planilhas de campo distam aproximadamente 5 km um do outro, estes foram espacializados em SIG para otimizar a visualização e interpretação dos resultados obtidos com as análises.

O procedimento com as amostras seguiu os passos adotados pelo Laboratório de Sedimentologia, no Laboratório de Oceanografia Costeira, procedimento seguido de Suguio (1973), onde as amostras são primeiramente lavadas até a retirada dos sais solúveis. Este método de lavagem ocorre até as amostras apresentarem uma concentração de sal na água inferior a 5 PSU. O próximo passo foi a eliminação dos orgânicos utilizando o método de oxidação com peróxido de hidrogênio. A etapa seguinte consistiu em realizar a queima de carbonato biodetrítico seguindo o procedimento de reação com ácido clorídrico.

A partir disto, foi realizada a identificação dos tamanhos de grãos em laboratório com as amostras superficiais de sedimento, utilizando um analisador de partículas por difração de luz da marca HORIBA. Onde pequenas porções das alíquotas foram colocadas em um recipiente contendo água filtrada, assim o material entra no sistema e é medido. O software LA-950 atrelado ao analisador gera um relatório apontando a granulometria medida e sua distribuição e o gráfico desta distribuição.

Os resultados das amostras sedimentares foram representados espacialmente no programa ArcGIS 10.1 aplicando o método não geoestatístico, local, determinístico e exato de interpolação dos “vizinhos mais próximos” (*nearest neighbours*). Este método prevê o valor de um atributo em um ponto que não existem dados coletados a partir do ponto da amostra mais próxima a ele, formando polígonos de Thiessen (HEAP & LI, 2008). Este método foi aplicado por se ter uma malha amostral com número reduzido de pontos. As amostras foram ainda classificadas pelos tipos de fundo de acordo com as diferentes propostas de Folk & Ward (1957) utilizando o programa GRADISTAT. Por fim, foi realizada uma análise estatística utilizando a extensão *Sediment Tools* na plataforma ArcGis 9. Neste momento além dos dados coletados (INCT), foram

inseridos os dados retirados de Souza (2007) e os dados do BNDO. A análise foi feita quanto a classificação de Shepard.

4.2.2 Processamento dos Dados Batimétricos de Cartas Náuticas

A aplicação da técnica BTM partiu da interpolação de cotas batimétricas digitalizadas da carta náutica 1902, publicada pela DHN, que apresenta 732 pontos na área de interesse. A interpolação utilizou o método dos Vizinhos Naturais (VN), disponível na extensão “*Spatial Analyst*” do *software* ArcGis, que possibilitou a geração de uma superfície contínua com células de 400m² (20m x 20m). Sendo o Modelo Digital de Terreno o dado de entrada para a execução da extensão BTM.

A partir do MDT foram gerados os índices de posição batimétrica (BPI's) que são feitos a partir da análise de vizinhança. Onde um algoritmo matemático analisa a posição relativa de um ponto em relação à média dos seus vizinhos, classificando cada pixel como neutro, positivo ou negativo. Dessa forma os Índices de Posição Batimétricas foram gerados.

Na Tabela 1 estão os valores utilizados para o cálculo dos índices de escala geral e refinada. A definição desses valores foi baseada na análise empírica de um conjunto de produtos gerados com diferentes raios, tendo sido escolhido o resultado que mais se assemelhou à realidade representada pela carta náutica.

Tabela 1. Valores utilizados para calcular os índices.

| | Broad BPI | Fine BPI |
|-----------------|------------------|-----------------|
| Raio interno | 1 | 1 |
| Raio externo | 32 | 8 |
| Fator de escala | 640 | 120 |

Esta análise pretende avaliar dentro de uma área estabelecida as diferenças de elevação entre um ponto focal e a média das elevações das células que estão próximas (LUNDBLAD *et al.*, 2006). As células com valores positivos corresponderão a regiões mais altas e as células com valores negativos corresponderão a áreas mais baixas. Os valores iguais ou próximos a zero são associados a áreas planas ou vertentes.

A próxima etapa foi a padronização dos resultados desses índices a fim de trazê-los para um mesmo intervalo de variação. Posteriormente, um dicionário de classificação foi desenvolvido baseado nos parâmetros dos índices de posição batimétrica (B-BPI & F-BPI), no mapa de declividades e em valores de profundidade. Essa classificação resultou na

definição de zonas morfológicas utilizando a escala geral, onde foram geradas as zonas e as estruturas. Para a compartimentalização, cada classe, entre as Zonas e Estruturas recebe uma combinação diferente de parâmetros.

Zonas:

1 - Crista: Valores maiores que 35 são classificados como cristas.

2 - Depressão: Valores menores que -35 são classificados como depressões.

3 - Planície: Valores entre -35 e 35 e com declividade menor que 5 são classificadas como planícies.

4 - Vertente: Valores entre -35 e 35 e com declividade maior que 5 são classificadas como vertentes.

Estruturas:

1 - Canal: Valores menores que -35 para classificação geral e refinada são classificados como canais.

2 - Depressão local: Áreas com valores entre -35 e 35 para classificação geral, menores que -35 para classificação refinada e menores que 5 de declividade são consideradas depressão local.

3 - Depressão de meia encosta: Áreas com valores entre -35 e 35 para classificação geral, menores que -35 para classificação refinada e maiores que 5 de declividade são consideradas depressão de meia encosta.

4 - Depressão em crista: Áreas com valores maiores que 35 na classificação geral e menores que -35 para classificação refinada, são consideradas depressão em crista.

5 - Depressão ampla sobre planície: Áreas com valores menores que -35 na classificação geral e valores entre -35 e 35 para classificação refinada, são consideradas depressão ampla sobre planície.

6 - Planície: Áreas com valores maiores que -35 na classificação geral, valores entre -35 e 35 na classificação refinada, valores menores que 5 para declividade e menores que -10 para profundidade, são consideradas planícies.

7 - Planície rasa: Áreas com valores maiores que -35 na classificação geral, valores entre -35 e 35 para classificação refinada, valores menores que 5 para declividade e maiores que -10 para profundidade, são consideradas planícies rasas.

8 - Vertente: Áreas com valores maiores que -35 para classificação geral, valores entre -35 e 35 para classificação refinada e declividade entre 5 e 70 são consideradas vertentes.

9 - Crista local em depressão: Áreas com valores menores que -35 para classificação geral e valores maiores que 35 para classificação refinada, são consideradas crista local em depressão.

10 - Crista local em planície: Áreas com valores menores que -35 para classificação geral e valores maiores que 35 para classificação refinada, são consideradas crista local em depressão.

11 - Quebra lateral de vertente: Áreas com valores entre -35 e 35 para classificação geral, valores maiores que 35 para classificação refinada e valores maiores que 5 para declividade são consideradas quebra lateral de vertente.

12 - Crista estreita: Áreas com valores maiores que 35, tanto para classificação geral como a refinada são consideradas crista estreita.

13 - Vertente íngreme: Áreas com valores maiores que -35 para classificação geral, valores entre -35 e 35 para classificação refinada e valores maiores que 70 para declividade, são consideradas vertente íngreme.

4.2.3 Relação entre a classificação BTM e classificação Sedimentar

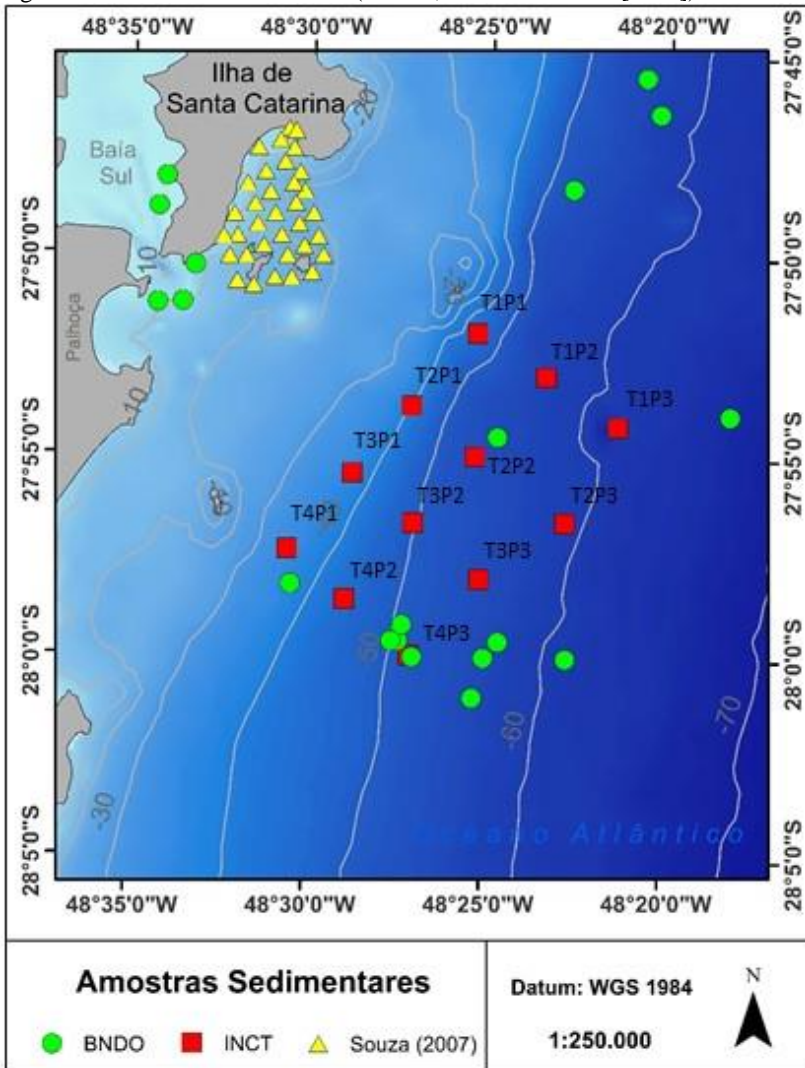
As classificações geomorfológicas obtidas com a aplicação do método BTM foram relacionadas com o conjunto de dados sedimentológicos utilizando para isto a soma no aplicativo *Raster Calculator*. A partir desta relação, representações gráficas foram geradas para as zonas em relação a sedimentologia e para as estruturas em relação a sedimentologia.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1 Aspectos Sedimentológicos Gerais

A distribuição das amostras de sedimento superficial foram espacializadas para compreensão da distribuição geográfica (Figura 11).

Figura 11. Amostras de sedimento (BNDO, INCT e SOUZA [2007]).



Os círculos verdes se referem a amostras sedimentares do BNDO, a qual obtivemos acesso aos dados já processados a nível de porcentagem de cascalho, areia, silte e argila. Foram utilizados 20 pontos desta fonte de informações. Os triângulos amarelos representam as amostras sedimentares obtidas em Souza (2007), que estudou a Enseada do Pântano do Sul. Foram 34 amostras sedimentares disponibilizadas que

contribuíram para a composição deste trabalho. Os quadrados vermelhos dizem respeito as 12 amostras superficiais coletadas no projeto INCT (Figura 11). Estas, por sua vez, foram processadas em laboratório desde a obtenção das concentrações de carbonato de cálcio e matéria orgânica total até as frações granulométricas de cada amostra. Sendo esta região abordada de forma mais detalhada, em termos sedimentológicos.

Na distribuição do conjunto total das amostras analisadas, os resultados dados em porcentagem da distribuição de cascalho, areia, silte e argila são apresentados na Figura 12. No quadro superior da esquerda (Figura 12), é possível verificar a distribuição da fração cascalho, sendo que a maior concentração alcança 42% do total entre as isóbatas de 30 e 40 m, contidas nas amostras sedimentares das porções mais rasas do levantamento INCT e em alguns pontos verificadas na Enseada do Pântano do Sul próximos as Ilhas Três Irmãs, nas amostras de Souza (2007).

As porções mais internas que apresentaram essas distribuições, na Enseada do Pântano do Sul, foram discutidas por Souza (2007), onde no trabalho ele constata fragmentos de conchas bem conservados em suas amostras de maior concentração da fração cascalho. A interface mais profunda, onde foram verificados os altos valores (47%) de carbonatos apresentam grande quantidade de fragmentos biodetríticos nos pontos mais rasos (T4P1, T3P1, T2P1 e T1P1) (Figura 12). O ponto T1P1 se diferencia dos outros por ser o mais profundo (47 m) da série de amostras mais próximas a costa, compondo uma menor quantidade de material carbonático do que as outras desta série. A essa área se traz o fato da isóbata ter sido apontada como paleolinha de costa a 9.000 A.P., devido a ocorrência desta camada de sedimentos relíquias, que se acumularam em tempos pretéritos e sob condições deposicionais muito diferentes das atuais (CORRÊA, 1996).

Ainda nesta região se leva em conta a zona hidrodinâmica em que os pontos estão distribuídos, a linha mais rasa, denominada pelos pontos P1 (Figura 13) se configuram na região denominada de Circalitoral Raso, onde a energia das ondas pode remobilizar o sedimento inconsolidado junto ao fundo. As concentrações das frações arenosas foram as mais observadas e se encontram predominantemente nas porções mais rasas da área de estudo, ao entorno da enseada do Pântano do Sul, onde a energia das ondas é capaz de mobilizar e as correntes de transportar as porções mais finas com maior facilidade.

Figura 12. Classificação do substrato inconsolidado.

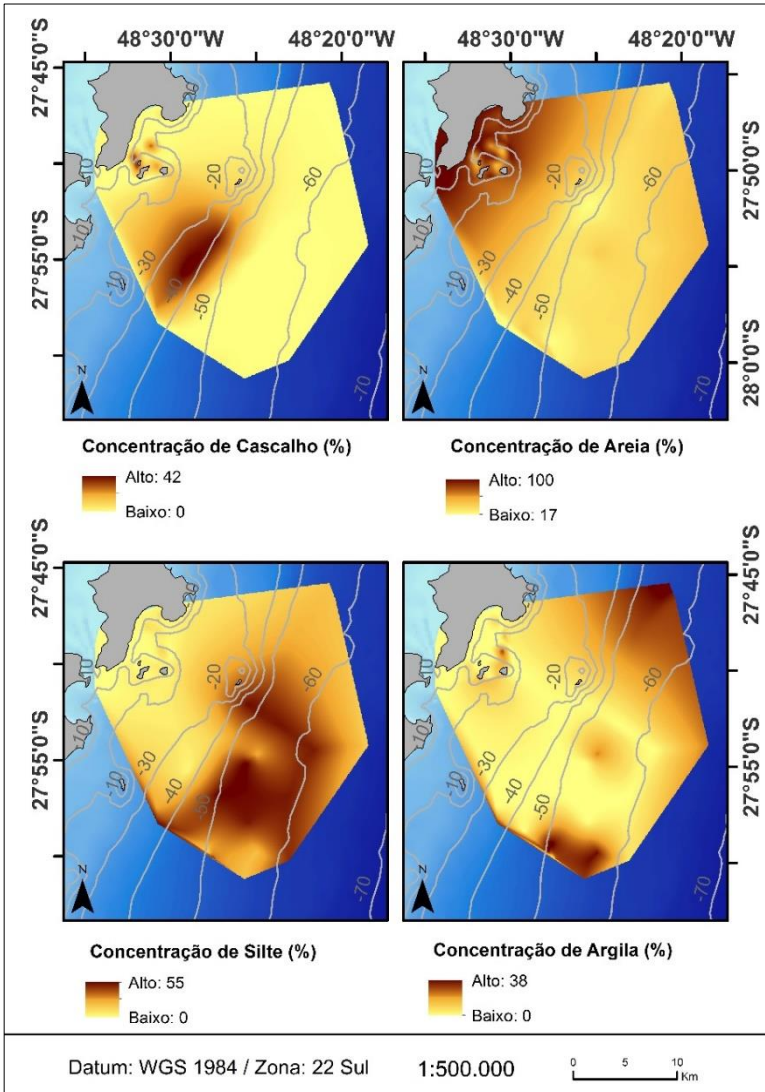
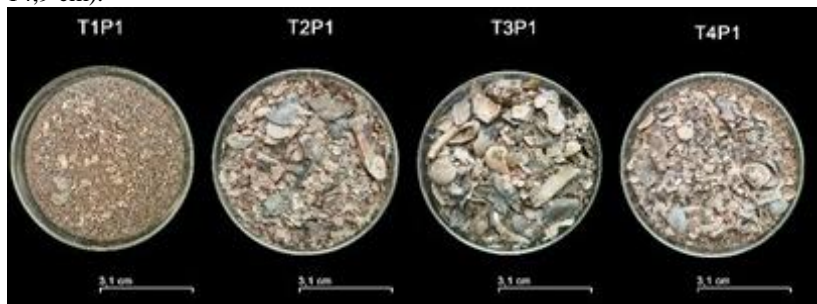


Figura 13. Fotografias das amostras com maiores quantidades de carbonato de cálcio (T4P1, T3P1, T2P1 e T1P1), feitas em placas de petri (diâmetro externo: 14,9 cm).

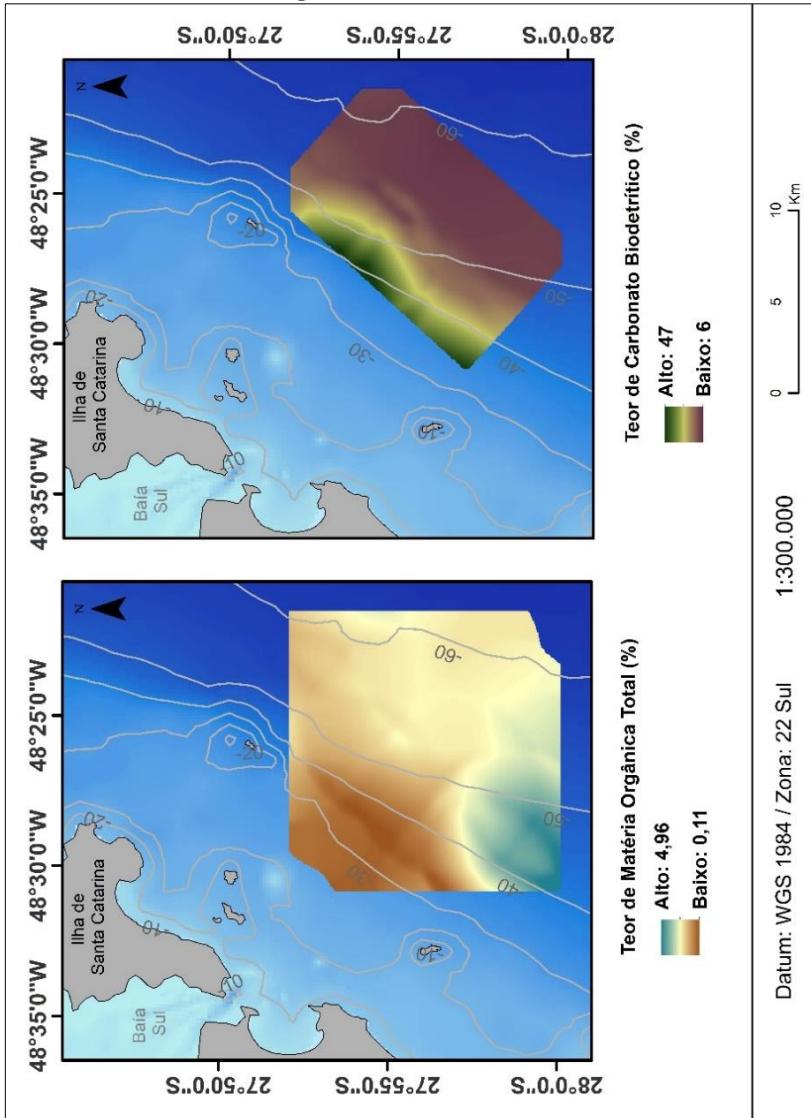


Fonte: Sara Gil, 2017.

As porções de silte foram verificadas em predominância na região do INCT e a sudeste da área estudada, onde estão concentrados os pontos do BNDO. A zona onde os finos se encontram é uma área com baixa hidrodinâmica (Circalitoral Profundo), fazendo com que as frações mais finas sejam depositadas.

A classe de sedimentos argilosos foi verificada nas extremidades sul e norte da área. Sendo que para região sul esses dados corroboram com a distribuição dos teores de matéria orgânica total (Figura 12) observados nas análises dos sedimentos do INCT. Quanto a distribuição do teor de carbonato biotrófico (Figura 14) somente nos dados do INCT, reconhecidos em sua maior parte como carapaça de animais mortos, os máximos foram de 47%, se concentrando nos pontos mais rasos da coleta. Esses materiais junto com as demais amostras foram considerados fração de cascalho, devido ao seu tamanho (> 2 mm). A alta concentração nessa área leva a inferir a alta produtividade biológica no momento de deposição. A porcentagem mínima de carbonato foi de 3% se distribuindo pelos pontos de coleta de maior profundidade (> 45 m). A distribuição dos teores de matéria orgânica encontrada nas amostras apresentou valores baixos na maior parte da área, alcançando 4,16 % na zona sudeste. A área está associada aos menores valores de granulometria vistos na região que foram identificados areia muito fina e silte muito grosso.

Figura 14. Teores de Matéria Orgânica Total (%) e Carbonato Biodetrítico (%) nas amostras sedimentares superficiais da coleta identificada como INCT.



Em um contexto geral, a granulometria dos dados analisados em conjunto se distribuiu como esperado para uma plataforma continental, com um decréscimo do tamanho de grão à medida que a profundidade aumenta, por conta da hidrodinâmica. Adicionando a ressalva da

concentração da porção de cascalhos entre 30 e 47 m, em vista da paleolinha de costa formada devido a variação do nível do mar, que com seu avanço depositou areias grossas e cascalho (CORRÊA, 1996).

4.3.1.1 Parâmetros Estatísticos

Na análise estatística sedimentológica para a região do INCT, foi possível constatar que a área é dominada por silte muito grosso, pobremente selecionado, com assimetria positiva e curtose platicúrtica. Os parâmetros estatísticos de cada ponto, segundo Folk & Ward (1957) estão apresentados na Tabela 2, com os valores e a descrição de Diâmetro Médio (M_z), Desvio Padrão (σ_1), Assimetria (Sk_1) e Curtose.

Tabela 2. Teores de Matéria Orgânica Total (%) e Carbonato Biodetrítico (%) nas amostras sedimentares superficiais da coleta identificada como INCT.

| Nº | M_z | | σ_1 | | Sk_1 | | K_G | |
|------|-------|--------------------|------------|------------------------------|--------|----------------|-------|--------------------|
| T1P1 | 4,20 | Silte muito grosso | 2,60 | Muito pobremente selecionado | -0,15 | Negativa | 0,81 | Platicúrtica |
| T1P2 | 4,44 | Silte muito grosso | 1,81 | Pobremente selecionado | 0,24 | Positiva | 0,70 | Platicúrtica |
| T1P3 | 4,27 | Silte muito grosso | 2,23 | Muito pobremente selecionado | 0,06 | Simétrica | 0,90 | Mesocúrtica |
| T2P1 | 0,66 | Areia grossa | 1,96 | Pobremente selecionado | 0,66 | Muito positiva | 0,86 | Platicúrtica |
| T2P2 | 4,65 | Silte muito grosso | 1,77 | Pobremente selecionado | 0,20 | Positiva | 0,70 | Platicúrtica |
| T2P3 | 4,34 | Silte muito grosso | 1,89 | Pobremente selecionado | 0,23 | Positiva | 0,69 | Platicúrtica |
| T3P1 | 0,31 | Areia grossa | 1,18 | Pobremente selecionado | 0,87 | Muito positiva | 0,42 | Muito Platicúrtica |
| T3P2 | 4,50 | Silte muito grosso | 1,70 | Pobremente selecionado | 0,22 | Positiva | 0,70 | Platicúrtica |
| T3P3 | 4,48 | Silte muito grosso | 1,67 | Pobremente selecionado | 0,34 | Muito positiva | 0,71 | Platicúrtica |
| T4P1 | 1,90 | Areia média | 2,97 | Muito pobremente selecionado | 0,35 | Muito positiva | 0,64 | Muito Platicúrtica |
| T4P2 | 4,13 | Silte muito grosso | 1,85 | Pobremente selecionado | 0,33 | Muito positiva | 0,71 | Platicúrtica |
| T4P3 | 4,41 | Silte muito grosso | 1,62 | Pobremente selecionado | 0,42 | Muito positiva | 0,70 | Platicúrtica |

4.3.1.1.1 Diâmetro Médio (M_z)

A distribuição do diâmetro médio, apresenta predominantemente silte muito grosso na sua composição. A área que se inicia em 35 m de profundidade e se estende até 60 m, é uma região de baixa hidrodinâmica com baixa interação fluxo/batimetria, tornando-se suscetível a deposição de sedimentos finos. Entretanto, nos pontos T2P1 e T3P1 o diâmetro médio apresenta como areia grossa na composição e o ponto T4P1 areia média. Estes pontos são os que contém a maior quantidade de material biodetrítico e estão ainda nas menores profundidades desta análise.

4.3.1.1.2 Desvio Padrão (σ_1)

O desvio padrão apresentou valores altos e assim a distribuição do grau de seleção apresenta como resultado deste parâmetro, provavelmente selecionado e muito provavelmente selecionado na dispersão dos grãos. Indicando a baixa seletividade do agente transportador para todos os pontos desta área.

4.3.1.1.3 Assimetria (Sk_1)

A assimetria apresentou valores predominantemente positivos. Estes resultados indicam que a amostra possui materiais finos e estes indicam ambiente de baixa hidrodinâmica ou ambientes deposicionais. O ponto T1P1 se apresentou diferente dos demais, com assimetria negativa indicando uma tendência erosiva para este ponto.

4.3.1.1.4 Curtose (K_G)

Os valores de curtose mostraram predominantemente uma distribuição platicúrtica no grau de agudez dos picos. O ponto T1P3, contrariando os outros demonstrou curtose mesocúrtica.

4.3.2 Classificação Sedimentar de SHEPARD (1954) – INCT, BNDO e Souza (2007)

Os dados sedimentológicos classificados com Shepard (1954) apresentaram 7 classes diferentes. Areia (16,27 %), areia argilosa (9,86 %), areia siltoosa (37,88 %), areia-silte-argila (8,40 %), sedimento cascalhoso (21,97 %), silte arenoso (5,61 %) e silte argiloso (0,01 %). Para esta classificação não foi considerada a eliminação de matéria

orgânica e carbonatos. A classe que se destacou como predominante na classificação de Shepard foi areia siltosa, com aproximadamente 38% de presença na região (Figura 16). Essa classe pode ser observada com destaque na distribuição espacial (Figura 17) na zona dos pontos INCT, corroborando com os dados estatísticos para essa área.

O sedimento cascalhoso foi a segunda classe de maior destaque com aproximadamente 22 % de ocorrência, abrangendo a porção mais rasa dos pontos INCT e a região adjacente as Ilhas Três Irmãs. A esta classe se atribui os fragmentos de conchas já mencionados como integrante da classe granulométrica cascalho.

A terceira classe mais abundante da área foi areia, com aproximadamente 16,5 % de ocorrência predominando na região mais rasa, na enseada do Pântano do Sul e seus entornos. Os finos são escassos nessas áreas por ser uma zona de alta hidrodinâmica, tornando essas classes facilmente colocadas em suspensão pelas ondas que atingem o fundo e transportados pelas correntes.

As classes que obtiveram menor ocorrência como areia argilosa (9,98 %), areia-silte-argila (8,40 %), silte arenoso (5,61 %) e silte argiloso (0,01 %), estão dispostas em sua maioria na porção nordeste da área estudada (Figura 15). Com incremento de silte arenoso na zona central no INCT. Por fim, na classificação de Shepard (Figura 16) ficou claro que porções mais finas se concentraram nas zonas com profundidades maiores (>25 m) e as frações arenosas estão disponíveis em ambientes mais rasos (< 25m).

Figura 15. Gráfico de porcentagem da classificação de Shepard (1954).

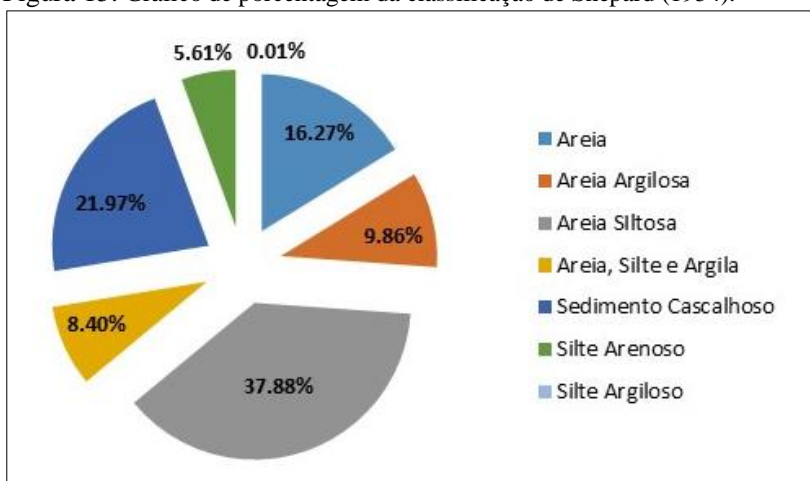
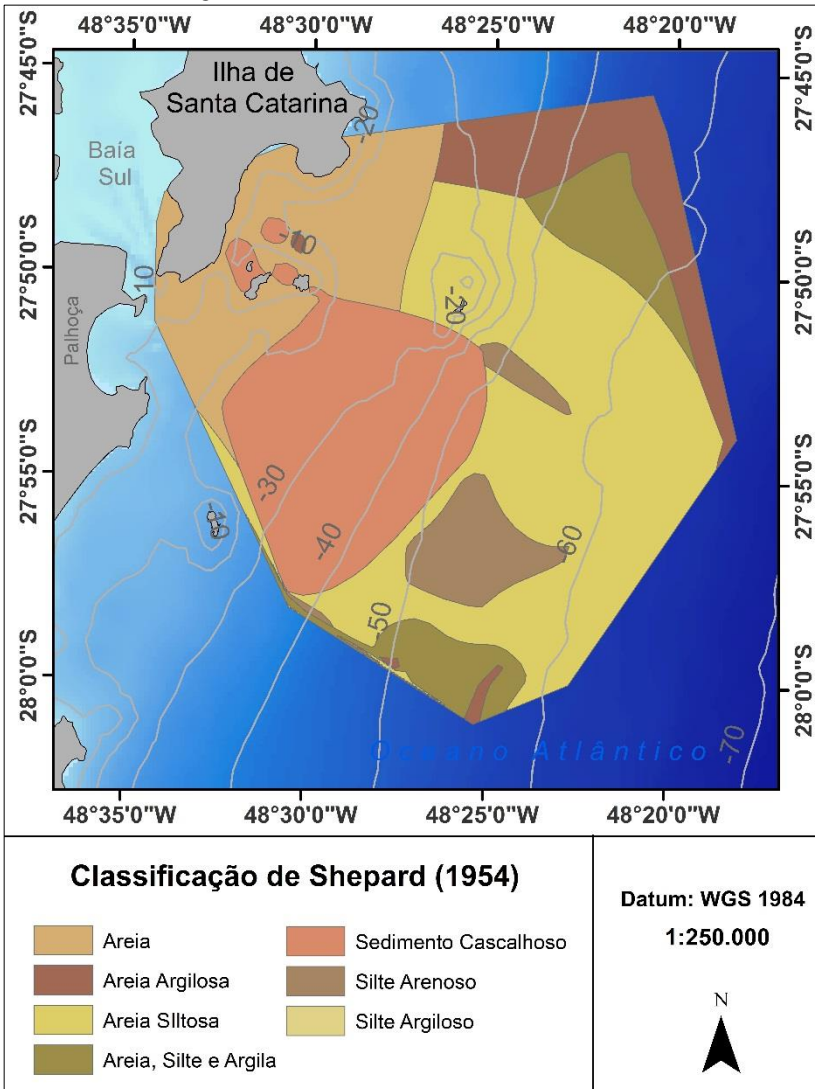


Figura 16. Representação espacial da classificação de Shepard (1954) com 7 classes sedimentológicas.



4.3.3 Geomorfologia da Plataforma Continental (BTM)

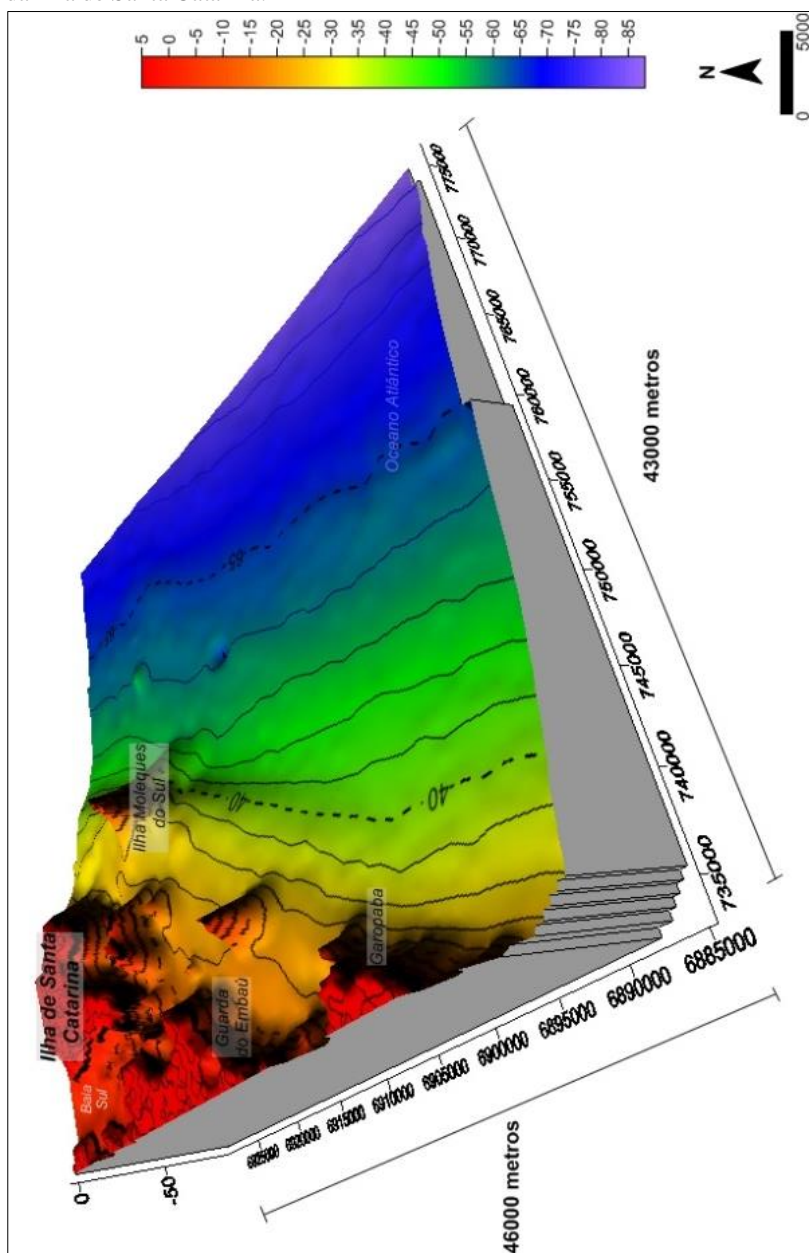
A geomorfologia da área estudada na Plataforma Continental foi identificada através da compartimentalização feita com a ferramenta BTM na plataforma ArcGIS. Para que se chegassem aos valores ideais de limites para a definição das classes, um Modelo Digital de Terreno foi desenvolvido e analisado. Na Figura 17 a representação tridimensional da área estudada (46 km x 43 km) é apresentada, identificando os componentes de maior influência batimétrica na região e que estão associados com o tipo de fundo de cada classe. A esses componentes, se referem a grande declividade vista próxima a Ilha Moleques do Sul e o arcabouço geológico formado pelas ilhas Três irmãs.

Na área de estudo a costa é bem recortada desde a porção sul da Ilha de Santa Catarina até o promontório de Garopaba. Passando pela enseada do Pântano do Sul que é protegido da ação de ondulações provenientes de norte e nordeste e sul e sudeste pelas Ilhas Três Irmãs (SOUZA, 2007). O canal da Baía Sul, região estreita (1 km) e profunda (45 m) que liga a Baía Sul ao Oceano Atlântico é quem descarrega a maior parte de sedimentos para o mar, visto que as correntes se propagam, predominantemente, de norte para o sul nesta região. Influenciando desta maneira o aporte sedimentar nessa região.

A declividade é influenciada por alguns visíveis bancos rochosos e ilhas que se distribuem pela parte mais rasa da área (até os 30 m) até se deparar com uma declividade acentuada, vista entre as isóbatas de 30 e 50 m ao pé da Ilha Moleques do Sul. Depois do expressivo declive observado, a plataforma se estende de maneira plana e sem nenhuma interferência batimétrica proeminente até a cota de 80 m. Com exceção de uma depressão pontual destacada na cota de 60 m.

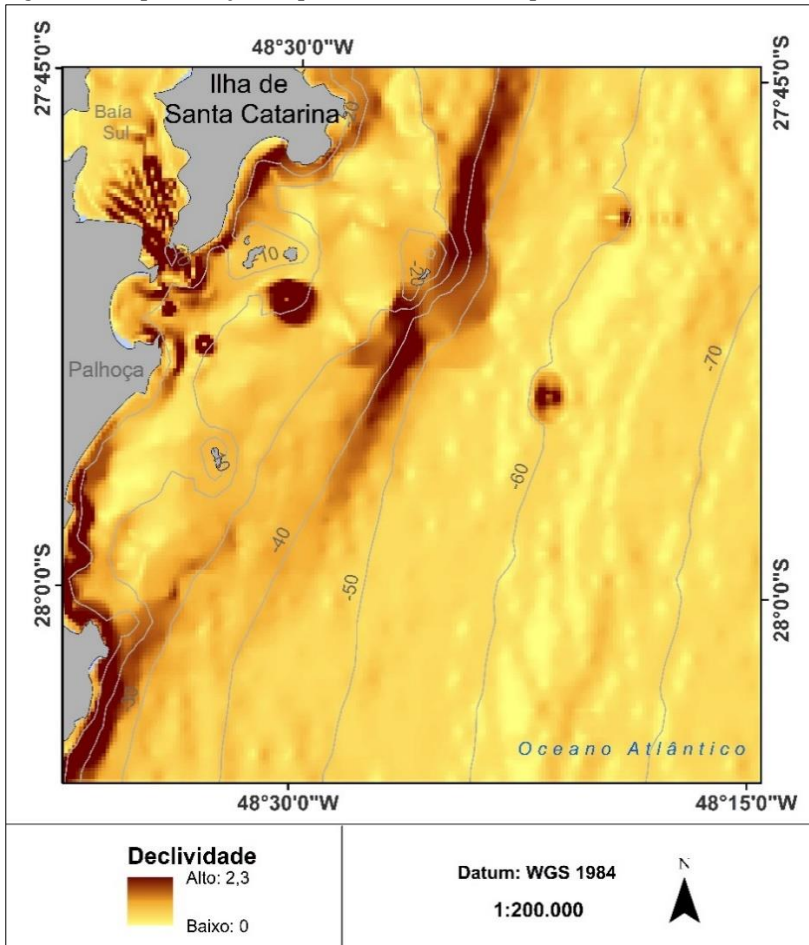
A partir da análise prévia da morfologia local com a análise tridimensional (Figura 17), os pontos de variação como declividade e profundidades limites foram observados. Assim, o modelo batimétrico foi utilizado, fundamentalmente, para o reconhecimento e classificação das diferentes unidades desta área em classes de zonas e estruturas, baseadas na construção de um dicionário ou biblioteca de classe, pré-determinado.

Figura 17. Representação tridimensional da porção sul da Plataforma Continental da Ilha de Santa Catarina.



Assim como na análise batimétrica feita a partir do modelo tridimensional (Figura 17), na análise dos valores de declividade dos dados batimétricos com a ferramenta BTM, foi possível identificar os locais onde os maiores declives (até $2,3^\circ$) apresentam as sensíveis depressões (Figura 18). Sendo que, a porção central da enseada do Pântano do Sul, o canal da Baía Sul, bancos submersos e a extensa declividade ao pé da Ilha Moleques do Sul, foram as regiões que representam as maiores declividades na área estudada. Quanto as regiões mais claras na Figura 18, representam as regiões mais suaves e planas.

Figura 18. Representação do parâmetro declividade para a área de estudo.



4.3.3.1 Classificação Batimétrica em Zonas (BTM – Zonas)

A batimetria classificada em relação as Zonas, apresentou 3 classes distintas. Sendo que a classe Planície foi a que cobriu a maior parte da área estudada, com um valor de 71 % de área coberta (Figura 19). Corroborando com o fato das plataformas continentais pacíficas serem de um modo geral reconhecidas como planas.

Com valores de cobertura muito próximos, a classe Depressão cobriu 15 % da área, seguida da classe Crista, com 14 % de cobertura (Figura 19). A depressão ao pé da Ilha moleques do Sul identificada na análise tridimensional e na declividade, é agora destacada na classificação batimétrica, contida entre as isóbatas de 40 e 60 m e se estendendo desde a porção norte da área de estudo até a praticamente ao sul.

Em um perfil iniciando da costa e terminando *offshore* (Figura 20), o perfil se inicia em uma planície, entra em uma crista expressiva que está paralela à costa, volta a atravessar a planície, encontra a depressão mencionada anteriormente e retorna a alcançar uma planície. A depressão e a crista estão alinhadas longitudinalmente a linha de costa atual e provavelmente se estendem ao norte da área estudada. Essa área que engloba as três diferentes classes definidas pelas Zonas através da batimetria, denota um possível limite de ambiente suscetível a distintos agentes morfológicos que atuam em cada subambiente.

Figura 19. Área ocupada (%) pelas classes classificadas em Zonas - BTM.

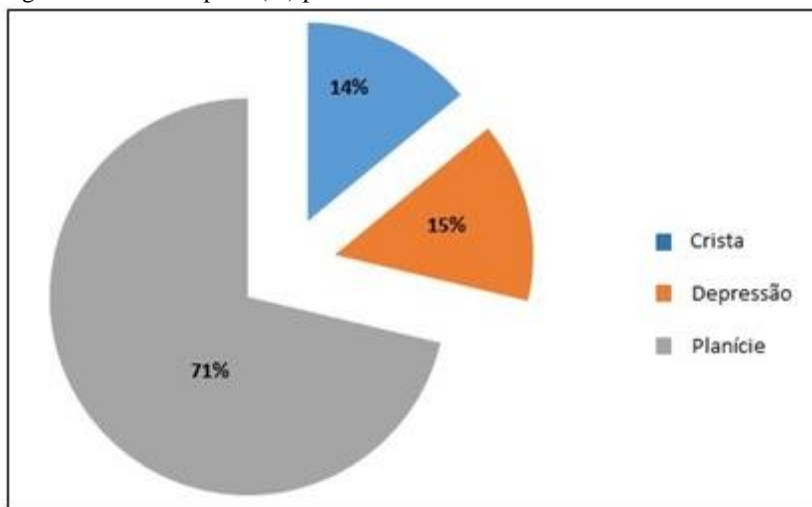
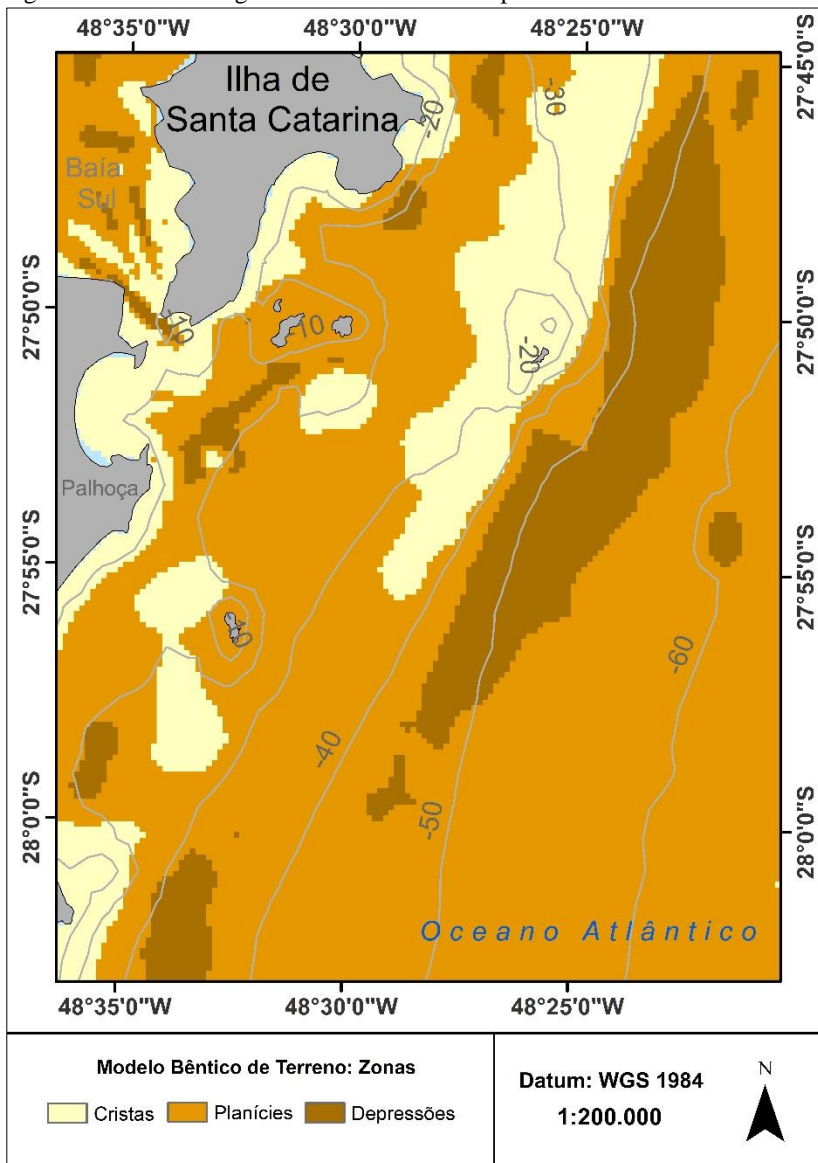


Figura 20. Geomorfologia classificada em Zonas pelo modelo bêntico de terreno.



4.3.3.2 Classificação Batimétrica em Estruturas (BTM – Estruturas)

Foram nove classes identificadas através da classificação batimétrica em estruturas utilizando a ferramenta BTM. Dessas classes, a que representa em 68% a área estudada foi a Planície (Figura 21). Seguida da classe Depressão Ampla sobre Planície (13,48%) e Crista Estreita (10,17%). As demais classes, Planície Rasa, Canal, Crista Local em Depressão, Crista Local em Planície, Depressão em Crista e Depressão Local, representam juntas menos de 9 % do total da área estudada. Estas são classificações que se diferenciam em detalhes como declividade combinada com profundidade que as enquadram em ambientes diferentes das classes predominantes, porém fazem parte de uma unidade maior, como foi visto nas classes das Zonas.

Nas Estruturas (Figura 22), as três classes de maior representatividade concordaram com a classificação obtida nas Zonas. Onde a planície domina o ambiente, seguida da depressão. Agora, a classe está destacada com maior detalhe e foi classificada como Depressão Ampla sobre Planície, que se refere a uma depressão de grande extensão, porém suave com relação a classe depressão em crista ou a local. Esta classificação demonstrou maior sensibilidade a crista estreita do que para as cristas em depressão ou em planície, mantendo esta classe com a maior ocorrência. A classe canal apareceu em baixa ocorrência e sempre associada as depressões, o que pode levar a compreender algum tipo de escoamento sedimentar que possa ocorrer nessas áreas.

Figura 21. Área ocupada (%) pelas classes classificadas em Estruturas - BTM.

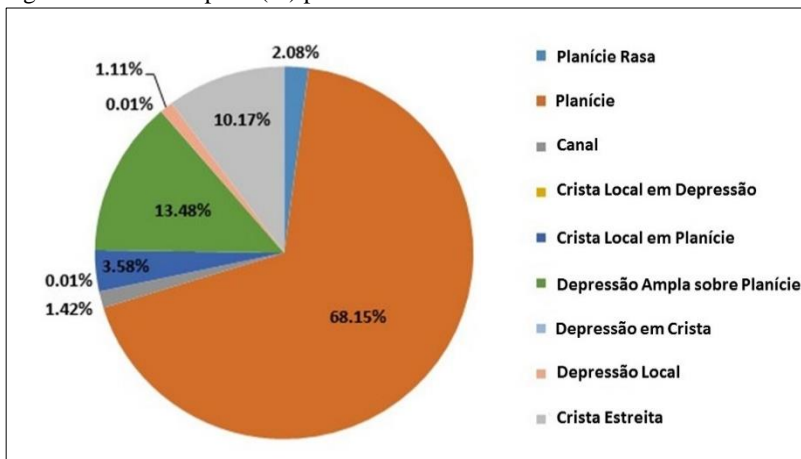
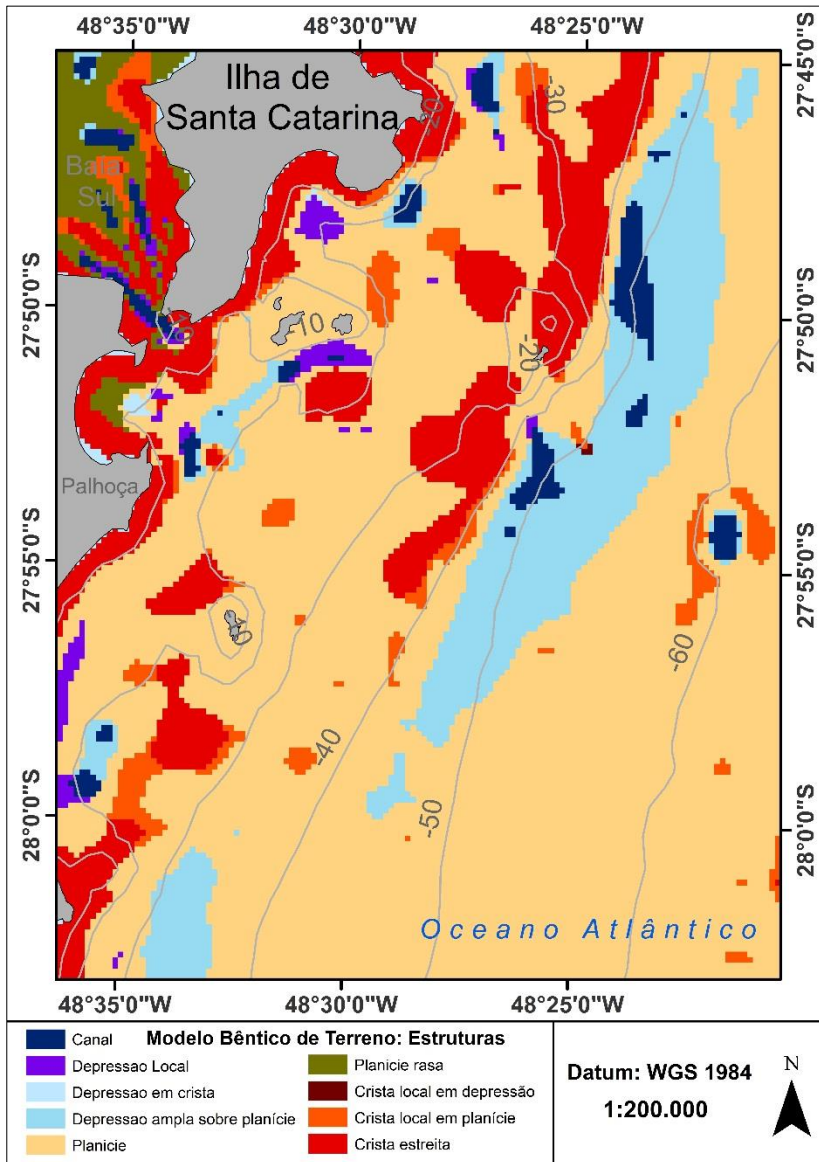


Figura 22. Geomorfologia classificada em Estruturas pelo modelo bêntico de terreno.



4.3.4 Relação entre Geomorfologia e Sedimentologia

4.3.4.1 Relação da Geomorfologia Classificada em Zonas com a Sedimentologia Classificada de Shepard

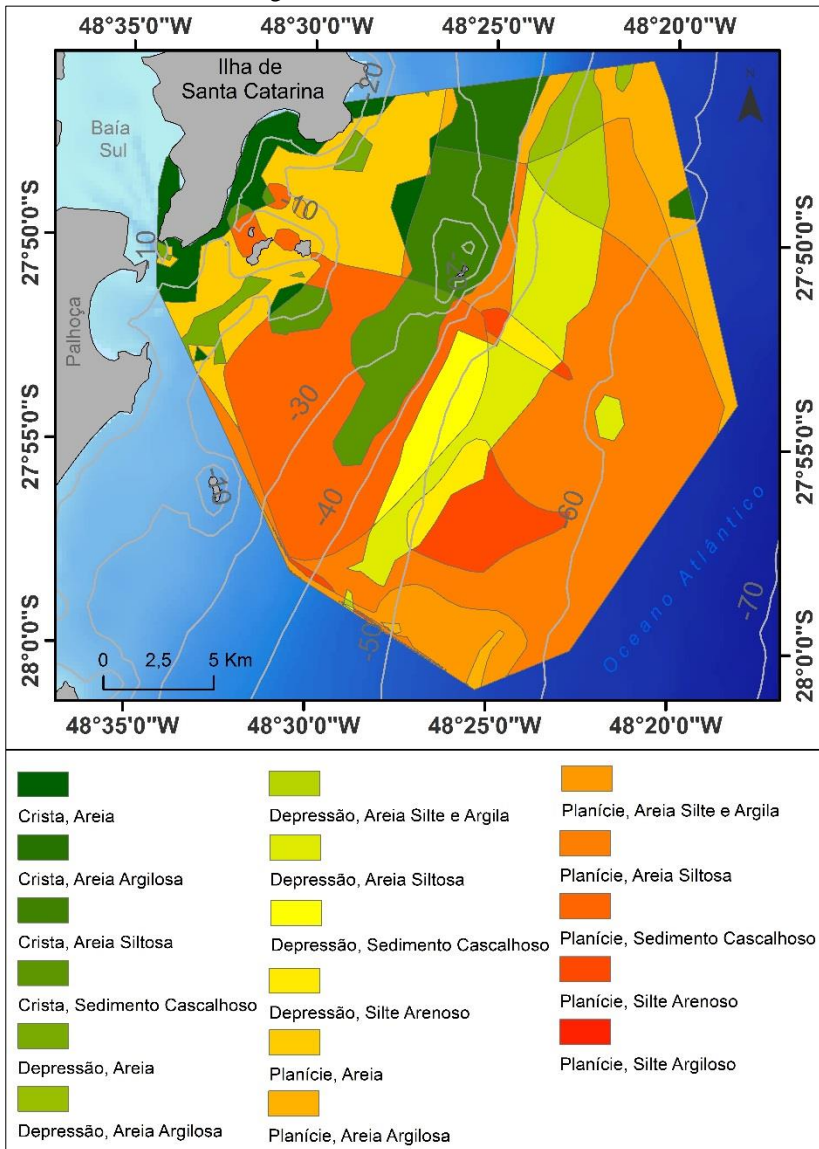
A combinação entre as classes de Zonas com as classes definidas na compartimentalização sedimentar de Shepard, gerou 20 novas classes (Figura 23). A classe combinada de maior ocorrência foi a “Planície, areia-silte-argila” cobrindo 78 % da área, contra as outras possíveis combinações. Todas as classes sedimentológicas marcaram presença nas planícies, sendo esta a classe geomorfológica de maior abrangência na área analisada. Já, nas cristas, as porções mais grossas (areia 25% e sedimento cascalhoso 23%) são mais abundantes. Sendo que, nas classes chamadas de depressões, se destacam por comportar em sua maior parte sedimentos de granulometrias menores (silte arenoso 32% e areia-silte-argila 23%).

A composição sedimentológica destes ambientes (sedimento biodetrítico e grosso) somado à disposição das zonas identificadas na análise geomorfológica (crista, planície e depressão) levam a compreender este ambiente como zona de antiga estabilização, onde a planície entre a crista e a depressão pode ser vista como uma marca morfológica da plataforma continental que afirma a estabilização do nível do mar, ou paleolinha de costa relatada em Corrêa (1996).

Sendo esta, a segunda estabilização do nível do mar, em 9.000 anos A.P., entre 32 e 45 m. As marcas estão associadas a um momento transgressivo, ou seja, de subida do nível do mar. A sequência de subidas no nível do mar (- 120 / - 130 m, - 60 / -70 m, - 32-45 m e - 20-25 m) correspondem a períodos mais frios, onde o aumento do nível do mar cessa por um tempo determinado formando uma quebra. Esta classificação se assemelha ao que foi observado na compartimentalização batimétrica das Zonas (Figura 20). Deixando evidente a crista, seguida de planície e depressão. Onde somente com a representação da declividade (Figura 18) estas características não ficaram claras.

Assim sendo, neste trabalho fica verificada a utilização da metodologia BTM. Visto que, sem esta análise o detalhamento do fundo passaria despercebido. Ainda assim, a relação de classes morfológicas com as classes sedimentológicas retratou de maneira realística o ambiente, sobrepondo informações complementares.

Figura 23. Representação da geomorfologia classificada em Zonas, combinada com a análise sedimentológica.

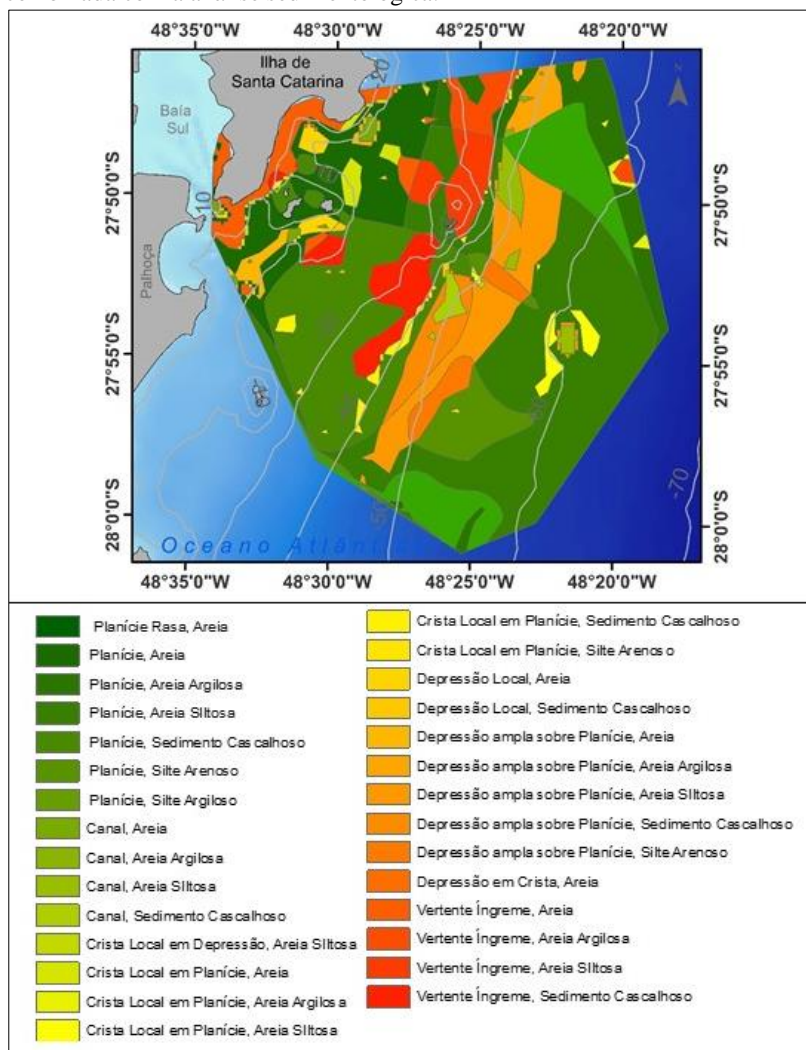


4.3.4.2 Relação da Geomorfologia Classificada em Estruturas com a Sedimentologia Classificada de Shepard

Os resultados da relação de Estruturas, derivadas do processamento batimétrico com as classes sedimentológicas (Figura 24) mantiveram basicamente a mesma linha das feições vistas na classificação anterior, da morfologia em Zonas com a compartimentalização sedimentar. Porém, o nível de Estruturas tem maior detalhamento e assim trouxe 29 classes diferentes, dispostas na área estudada. Apesar do alto número de classes reconhecidas no processamento, as planícies, em suas possíveis combinações, continuam sendo a mais ocorrentes para a área.

Para a classificação em questão, a classe vertente ocupa a área onde anteriormente era identificada como crista. Isto se deve a declividade ser percebida pelo algoritmo com maior sensibilidade nesta, do que na classificação em Zonas, com menor nível de detalhamento. Acima de tudo, a mesma configuração pode ser visualizada (Figura 24), na proeminente depressão (depressão ampla sobre planície, areia-siltosa) que se estende de norte a sul da área investigada. Sendo que, mesmo com maior sensibilidade o algoritmo usado para calcular e classificar em Estruturas, este não demonstrou grandes fragmentações para área estudada em comparação a classificação em Zonas. A isto pode-se inferir o efeito negativo do grande espaçamento entre os pontos batimétricos. Quando o refinamento da investigação não traz maiores informações para a análise.

Figura 24. Representação da geomorfologia classificada em estruturas, combinada com a análise sedimentológica.



4.4 CONCLUSÕES

As características geomorfológicas na área estudada definidas pelo método de análise batimétrica, foram a crista contínua seguida de planície e extensa depressão, feições paralelas uma a outra e a linha de costa, formando perfil acidentado no sentido *offshore*, localizada na área de coleta do INCT.

Este agrupamento de feições ganha destaque quando associado as características sedimentares de granulometria cascalhosa/biodetrítica na crista e planície, e areno-siltosa na depressão. Os resultados obtidos levam a relacionar a área com uma paleolinha de costa, apontada por Corrêa (1996), situada entre 32 a 45 m, estabelecida através de processos de variação do nível do mar há 9.000 B.P.

Desta forma, assim como em outros trabalhos (PEREIRA, 2106; MUSSI, 2017) utilizando a ferramenta BTM adaptada para águas rasas (PEREIRA & BONETTI, 2018), a metodologia se mostrou eficiente em na identificação das feições geomorfológicas propostas.

Suspeita-se que a formação mencionada se estenda tanto para norte como para sul da área analisada. Um estudo investigativo de maior escala, com volume maior de dados batimétricos e sedimentológicos poderia apontar resultados mais precisos quanto a morfologia e deposição sedimentar da região e assim responder a total dimensão das feições vistas neste trabalho.

Somado a isto, a utilização de ferramentas, como veículos autônomos ou operados remotamente e sonares de varredura são interessantes nesse contexto, pois poderiam auxiliar na visualização da camada superficial do fundo trazendo informações que reforcem as afirmações morfológicas do tratamento batimétrico-sedimentológico remoto.

5 CAPÍTULO II: CLASSIFICAÇÃO DE FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS COM DADOS INTERFEROMÉTRICOS NA ENSEADA DO PANTANO DO SUL, ILHA DE SANTA CATARINA

Este capítulo trata de feições sedimentares mapeadas na área da Enseada do Pântano do Sul. A localização geográfica e seus detalhes foram apresentados na primeira seção (2.1) deste trabalho. Para a investigação do leito submerso foi realizado levantamento com sistema interferométrico e os resultados foram comparados com bibliografia já existente na região e entre outras pelo mundo que identificaram formações semelhantes.

5.1 INTRODUÇÃO

Feições sedimentares ou formas de leito, são relatadas em diversas plataformas continentais ao redor do mundo (AMOS et al., 1996; CACCHIONE et al., 1984; BODEGA BAY HUNTER et al., 1982; MURRAY e THIELER, 2004; PAOLO e MAHIQUES, 2008; MOSCON e BASTOS, 2010). Nas plataformas continentais oceânicas, os fluxos e transporte de sedimentos são regidos por correntes de maré, fluxos de ondas, fluxos de vento, plumas flutuantes, densidade das correntes e ondas internas (NITTROUER & WRIGHT, 1994).

As regiões rasas, marcadas constantemente por presença de alta energia, remobilizam a superfície do fundo formando padrões sedimentares (ASHLEY, 1990). Nas regiões submetidas a regimes de micro-maré, a ação hidrodinâmica (ondas e correntes) é responsável por remobilizar e determinar o transporte das partículas de sedimento. Um exemplo de leito verificado nessas zonas são as “*rippled scour depressions*”, definidas primeiramente por CACCHIONE (1984) e reformuladas a partir de uma nova hipótese como “*sorted bedforms*” por MURRAY E THIELER (2004). Essas feições apresentam formas alongadas e onduladas com sedimentos grossos somados a limites abruptos de sedimentos compostos por areia fina.

Através do mapeamento de superfícies submersas com o uso de imagens de *side-scan sonar* uma vasta área do leito marinho vem sendo melhor compreendida. Além de ser um método não destrutivo, obtido em um curto intervalo de tempo, ele possibilita uma cobertura abrangente do ambiente quando comparado aos métodos diretos (SOUZA, 2006). Através desta técnica é possível reconhecer objetos e também feições de fundo com base nas diferentes respostas acústicas obtidas pela sonografia.

Estas informações fornecem subsídios para inferir sobre a litologia do ambiente e até mesmo sobre o comportamento da hidrodinâmica no local.

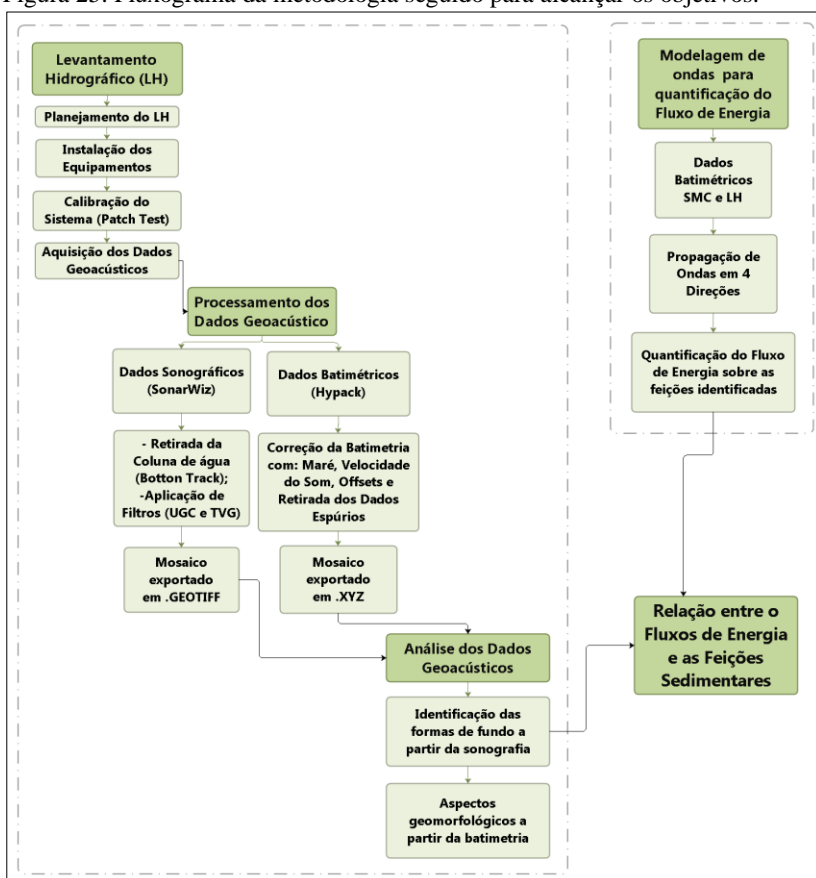
A técnica da interferometria, aplicada neste trabalho com sistema interferométrico ou diferenciador de fases da EdgeTech, modelo 4600, traz a possibilidade de coletar a partir de um mesmo equipamento dados de imageamento do fundo concomitante aos dados de profundidade de uma área. Assim sendo, a obtenção de informações batimétricas de alta precisão acopladas as imagens do mesmo ponto tornam a técnica vantajosa em comparação a outros métodos que não oferecem esta funcionalidade.

Tendo em vista a necessidade ecológica de se compreender os ambientes marinhos, o objetivo proposto nesse trabalho foi identificar e compreender as feições morfológicas e irregularidades batimétricas presentes no trecho mapeado na enseada do Pantano do Sul, sul da Ilha de Santa Catarina, a partir de dados interferométricos, relacionando estes com informações sedimentológicas (Souza, 2007) e com o regime de ondas (Araújo, 2003) da área. De forma a complementar o entendimento das formas de leito identificadas no mapeamento geoacústico, o fluxo direcional médio de energia em águas rasas a partir de modelagem numérica foi relacionado as feições trazendo contribuições significativas para o trabalho.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia seguida neste capítulo é apresentada no fluxograma abaixo (Figura 25), abrangendo cinco etapas principais: 1) Levantamento Hidrográfico; 2) Processamento dos dados geoacústicos; 3) Análise dos dados geoacústicos; 4) Modelagem de ondas para quantificação do fluxo direcional médio de energia e 5) Relação entre os fluxos de energia com as feições sedimentares identificadas no mapeamento da Enseada do Pântano do Sul.

Figura 25. Fluxograma da metodologia seguido para alcançar os objetivos.



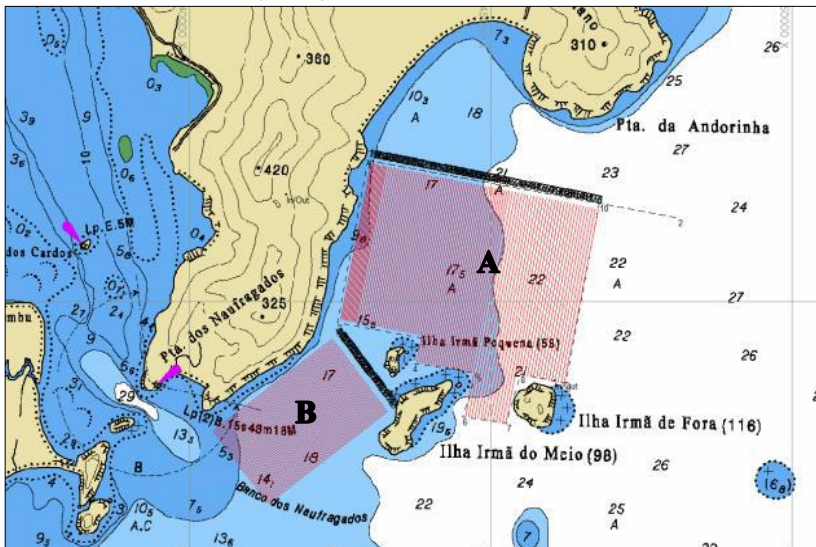
5.2.1 Levantamento Hidrográfico (LH)

5.2.1.1 Planejamento do Levantamento Hidrográfico

No primeiro momento foi realizado um planejamento de campo para a aquisição de dados geocústicos. Neste planejamento foram delineados o tempo de aquisição para cada dia disponível, cálculo da distância entre as linhas navegadas para uma cobertura de 30% do mapeamento (Figura 26), monitoramento das condições meteorológicas e oceanográficas favoráveis a aquisição de dados, organização da equipe envolvida, listagem dos materiais necessários para o levantamento e organização do orçamento disponível.

As linhas ficaram definidas com um espaçamento de 73 m para profundidades maiores que 15 m e 57 m para profundidades menores que 15 m, cobrindo uma área de 20 km². O levantamento foi planejado nos entornos mais protegidos das Ilhas Três Irmãs, delimitado a sudeste pelo Banco de Naufragados e o Canal da Baía Sul. Ao norte, uma linha perpendicular a Ponta das Pacas foi a delimitação utilizada se estendendo até a cota de 22 m verificada na Carta Náutica 1902 disponibilizado pela DHN.

Figura 26. Planejamento das linhas de sondagem na Enseada do Pântano do Sul, dividido em dois setores (A e B).



5.2.1.2 Instalação dos Equipamentos na Embarcação

Um conjunto de equipamentos complexos e de alta tecnologia foram utilizados para que o Levantamento Hidrográfico fosse produzido. A lista abaixo define estes equipamentos e os descreve brevemente:

- ✓ Sonar Batimétrico por Diferenciação de Fase ou Sistema Interferométrico. Operando em alta frequência (540 kHz) o equipamento da marca EdgeTech, modelo 4600, coleta dados da superfície do leito. Batimetria de alta resolução com cobertura de até 12 vezes a profundidade da água em um ambiente de águas rasas e dados de sonar de varredura lateral georreferenciados e co-registrados aos dados batimétricos.
- ✓ Unidade de referência de movimentos (MRU) ou sensor de movimentos. Equipamento da marca SMC, modelo IMU 108, registra e corrige os movimentos (*roll*, *pitch* e *heave*) da embarcação. Com uma acurácia de 0,03° para o *roll* e *pitch* e 5 cm ou 5% para *heave*.
- ✓ Antenas DGPS, da marca NovAtel, modelo FlexPack-6. Equipamento que aquisita a posição geográfica da embarcação quando esta está se deslocando, somado a orientação em relação ao norte verdadeiro (*Heading*). A acurácia no posicionamento é de 0,15m.
- ✓ Perfilador da velocidade do som, da marca Teledyne, modelo ODOM - Digibar S. O equipamento mede a velocidade do som, temperatura, pressão e tempo ao longo da coluna de água. Com uma acurácia de 0,05 m/s.

A instalação dos equipamentos na embarcação durou um dia. O primeiro passo foi a instalação da base (Figura 27) para apoio do pole. O pole foi a estrutura que serviu de suporte para fixação do interferômetro na extremidade que fica submersa. Na outra extremidade (emersa) do suporte foram instaladas duas antenas DGPS (Figura 28) com espaçamento de 1,5 m entre elas. O sensor de movimentos foi instalado no centro de massa da embarcação (Figura 29). É a partir deste ponto que foram feitas as medidas dos *offsets* que serviram como valores de correção para os dados do levantamento. Os valores dos *offsets* estão no APÊNDICE A deste trabalho.

Figura 27. Instalação da base para suporte dos equipamentos.

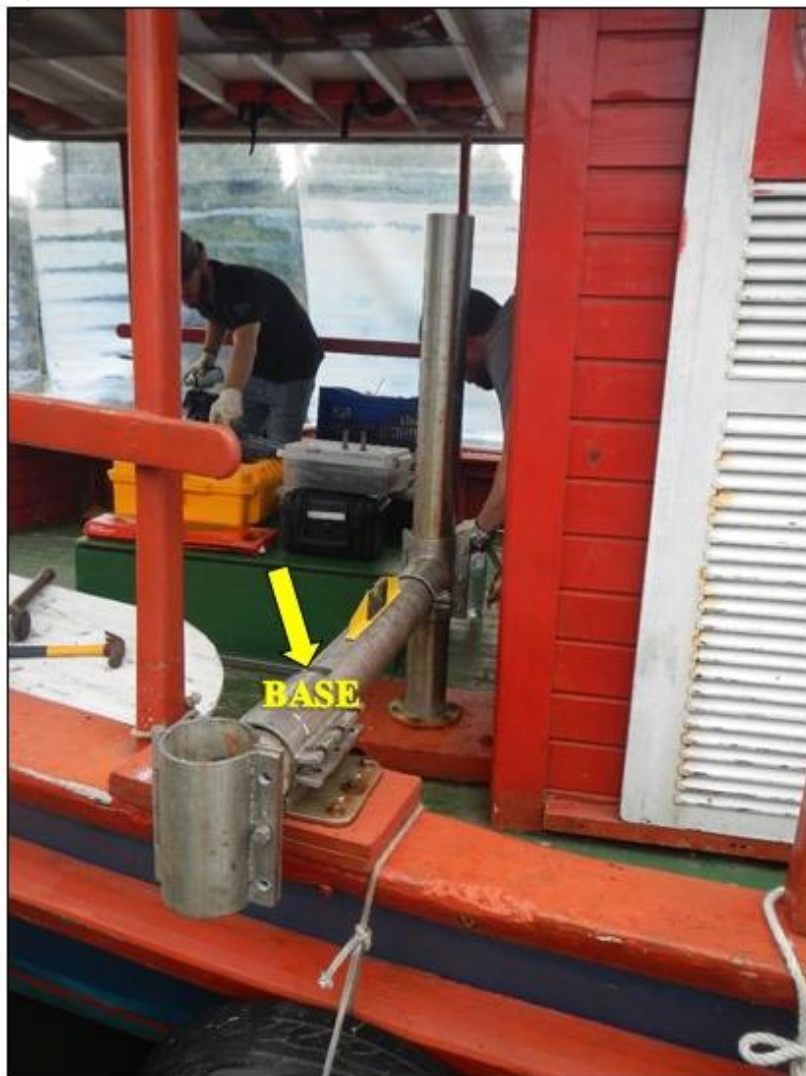


Figura 28. Instalação dos equipamentos na embarcação “Cultura Subaquática”.



Foto: Autora (2016).

Figura 29. Instalação do sensor de movimentos na embarcação.

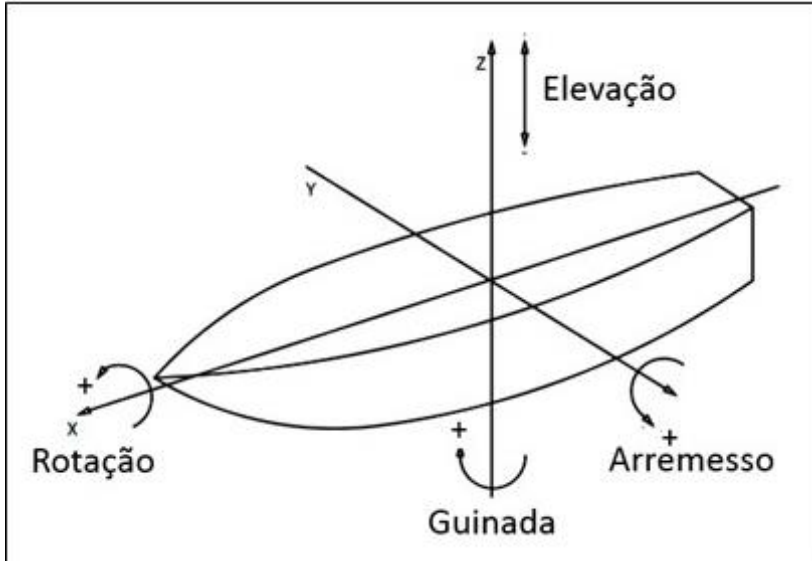


Foto: Autora (2016).

5.2.1.3 Calibração do Sistema Interferométrico – *Patch Test*

Em campo, a primeira etapa cumprida foi a calibração do equipamento para que os erros intrínsecos ao método fossem minimizados. Este estágio é chamado de *Patch Test* (Figura 30) e é dividido em quatro testes diferentes. Os valores dos testes estão no APÊNDICE B deste trabalho.

Figura 30. Esquema dos movimentos associados a embarcação.



O primeiro teste, chamado de “Teste da Latência” mede o atraso na transmissão dos dados de posição, da orientação em relação ao norte verdadeiro e do sensor de movimentos relativo aos dados de profundidade. Indicado na Figura 30 por “elevação” (*heave*) está o movimento relativo a profundidade. Para realizar o teste foram (Figura 31) navegadas duas vezes na mesma direção em uma mesma linha, porém da primeira passagem com velocidade entre 3 a 4 nós e na segunda com velocidade de 6 a 7 nós.

O segundo teste, chamado de “Teste *Pitch*” mede o erro vertical de alinhamento entre o equipamento (interferômetro) e a embarcação. Na Figura 30 o movimento da embarcação é chamado de “arremesso” (*pitch*). Para este teste uma mesma linha (Figura 31) foi sondada em sentidos opostos utilizando a mesma velocidade, sendo que, para este caso foi

necessário que houvesse um alvo (rocha) a ser sobreposto pelas sondagens.

O terceiro teste, “Teste *Roll*” calcula o erro horizontal de alinhamento entre o equipamento (interferômetro) e a embarcação. Na Figura 30 o movimento da embarcação é chamado de “rotação” (*roll*). Para realização deste teste três linhas paralelas foram sondadas em sentidos opostos com a mesma velocidade, sendo que o fundo era plano (Figura 31). O último teste, “Teste *Yaw*” faz a correção do alinhamento horizontal entre o equipamento (interferômetro) e a embarcação, considerando o azimute. Na Figura 30 o movimento da embarcação é chamado de “guinada” (*yaw*). Foram realizadas duas navegações em linhas paralelas sondadas em sentidos opostos e na mesma velocidade (Figura 31). Para este teste, que solicita alvo, havia afloramento de rochas na superfície do fundo.

Figura 31. Linhas sondadas para realização dos *Patch test*.



5.2.1.4 Aquisição dos Dados Geoacústicos

Depois da instalação e calibração dos equipamentos, o levantamento de dados geoacústicos foi iniciado. Os primeiros três dias de levantamento foram direcionados as sondagens no setor A (de leste para oeste), e nos últimos dois dias o levantamento foi realizado no setor B (Figura 32).

Figura 32. Levantamento completo com sistema interferométrico.



Assim como já explicado em outra seção (5.2.1.2) deste capítulo, os dados de sonar e batimetria pelo método da interferometria são coletados simultaneamente pelo equipamento. Porém, para a aquisição de dados são utilizados programas diferentes. Assim como para o planejamento e navegação, o programa HYPACK também foi utilizado na coleta dos dados batimétricos. Entretanto, para a aquisição dos dados de sonografia o programa utilizado em campo foi o DISCOVER. O sistema de referência adotado foi o Datum WGS 1984 – Zona 22 Sul.

Cada linha traçada teve uma série de parâmetros anotados em planilhas de papel ao longo de todo o levantamento, para que o andamento ficasse registrado. Um exemplo dessas planilhas está no APÊNDICE C deste trabalho. Durante o levantamento foram realizados 25 perfis de velocidade do som na água com o perfilador acústico, a uma média de

1:30 horas de intervalo entre estes. As informações sobre os perfis podem ser obtidas no APÊNDICE D deste trabalho.

5.2.2 Obtenção e Processamento dos Dados de Maré

Dados de variação do nível da maré são necessários para a correção da batimetria. A série utilizada para o intervalo do levantamento foi disponibilizada pela EPAGRI – Ciram, do marégrafo instalado na Caieira da Barra do Sul – Baía Sul, Florianópolis. A série fornecida compreendeu os meses de março e abril, em um intervalo de 15 minutos entre cada registro do nível da maré (cm).

Foram selecionados os dados equivalentes aos dias do levantamento, separados um a um e transformados os níveis dados em cm para metros (Figura 33). O passo seguinte foi transformar os arquivos em “.tdx”, formato exigido pelo programa HYPACK. Os arquivos (.tdx) já separados por dia foram levados ao programa de tratamento da batimetria e convertidos em “.tid”, formato exigido para inserção no momento de processamento dos dados batimétricos HYPACK - Hysweep.

Figura 33. Variação do nível da maré nos dias do LH – Baía Sul/Florianópolis.



5.2.3 Processamento de Dados Geoacústicos

5.2.3.1 Processamento de Dados Sonográficos

Para o processamento dos dados sonográficos foi utilizado o programa SONARWIZ - Versão 6 (*Chesapeake Technology*). Os testes de entrada das linhas brutas (.jsf) mostraram que um ganho de 4X era o ideal para o processamento destas. O procedimento seguinte foi a extração da coluna de água, para isso foi utilizado o comando “*Bottom track*” em todas as linhas. Posteriormente foi realizado o ajuste do sinal com a utilização de filtros, a fim de que as feições fossem realçadas e assim auxiliando a identificação destas. Para estes dados os filtros usados

foram: *Time Variation Gain* (TVG), filtro que busca criar uma exibição uniforme dos dados nos intervalos próximos as bordas do feixe ao verificar sinais progressivamente mais fracos; e *User Defined Gain Control* (UGC). Na Figura 34 é possível observar um recorte de uma linha sem a retirada da coluna de água (A), depois desse procedimento (B) e por último, com a aplicação dos filtros (C).

Figura 34. A: Sem *Bottom track*; B: Com *Bottom track*; C: Com Filtros.



A etapa seguinte foi a delimitação e identificação das feições existentes na área estudada. Dessa forma polígonos foram desenhados e identificados em torno das feições de fundo observadas nas imagens. As feições aparentes foram medidas quanto à altura, comprimento e dimensões ocupadas na área mapeada. Estes polígonos foram ainda, levados a um SIG (ArcGis) para representação esquemática das feições. O último passo foi a confecção do mosaico da área mapeada, com a união de todas as linhas processadas e seguinte exportação no formato “.GeoTiff”, com resolução de 0,50 cm/pixel.

5.2.3.2 Processamento de Dados Batimétricos

O processamento dos dados batimétricos consiste na correção dos valores de profundidade (z) com relação aos *off-sets* medidos na embarcação, valores dos testes de calibração (*patch test*), com a variação de maré no momento do levantamento, com a velocidade do som na água, somados a remoção manual dos dados espúrios. Esse procedimento foi realizado no programa HYPACK 2016 e o que desprende mais tempo de processamento (média de 3 horas de processamento para cada km de linha sondada). Onde cada linha coletada foi alinhada com os parâmetros citados acima relativos a data e hora correspondente. Por fim, as linhas foram unidas com o comando “*Merge*” e exportadas no formato “.xyz” com resolução de 0,1 metros.

5.2.4 Análise dos Dados Geoacústicos

5.2.4.1 Identificação e Classificação das Formas de Leito

A identificação das formas de fundo se deu através do padrão adotado pelo Sociedade de Geologia Sedimentar (SEPM) (ASHLEY, 1990); (SHORT, 1999) e pelo catálogo de identificação elaborado por Porpillo (2015).

5.2.4.2 Geomorfologia da Batimetria de Detalhe

Para obter os parâmetros geomorfológicos os dados batimétricos foram levados para o programa SURFER, dessa forma foi gerado o mapa de contorno para a área.

5.2.4.3 Integração dos Dados Geoacústicos

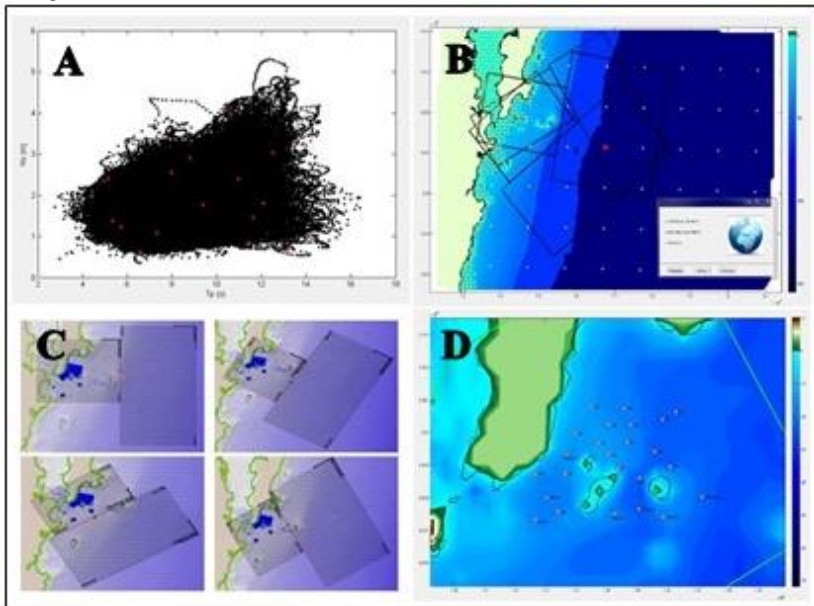
No programa SONARWIZ, na extensão “*3D Mapper*” os dados batimétricos (três dimensões) foram unidos aos dados do sonar de varredura lateral (duas dimensões), para que fosse gerado um Modelo Digital Batimétrico ou representação 3D da área mapeada. Pelo fato da quantidade de dados ultrapassar a capacidade computacional a área foi dividida em duas zonas (Zona A: setor leste e central; Zona B).

5.2.5 Fluxo Direcional Médio de Energia em Águas Rasas

Para a obtenção da quantificação do fluxo direcional médio de energia ($J/m.s^1$) em águas rasas sobre as feições identificadas no mapeamento, uma sequência de passos foi seguida (Figura 35):

- Escolha do ponto DOW (Figura 35-B);
- Análise descritiva no AMEVA (Figura 35-A);
- Definição dos casos de onda a serem propagados;
- Ajuste da batimetria;
- Elaboração de malhas (Figura 35-C);
- Propagação dos casos de ondas;
- Definição dos pontos de reconstrução do fluxo de energia;
- Reconstrução do fluxo de energia (Figura 35-D);
- Sobreposição dos valores do fluxo direcional médio de ondas resultante sobre o mosaico sonográfico concluído nas etapas anteriores.

Figura 35. Passos seguidos para obtenção do fluxo direcional médio de energia em águas rasas.



As etapas citadas anteriormente foram realizadas utilizando o programa SMC – BR. Em modelos compartimentalizados deste programa foram executadas etapas distintas. O chamado ponto DOW, refere-se a uma base de dados de reanálise calibrados e validados de 60 anos de ondas (1948 - 2008), provindos de modelos de ondas globais e altimetria por satélite. Estes pontos foram ainda adequados para ambientes costeiros (“*downscaling*”). O ponto selecionado está posicionado na isóbata de 68 metros (767586 O e 6911364 S).

A análise descritiva no AMEVA foi realizada no programa SMC 3.0, onde a análise matemática estatística das variáveis ambientais auxilia a definição dos casos de onda que serão selecionados para representar a série na propagação de ondas de águas profundas para águas rasas.

O ajuste da batimetria se deu ao criar isolinhas próximas a costa e as ilhas para que assim suavizassem a chegada das ondas de forma menos abrupta. Somada a batimetria disponibilizada das cartas náuticas, foi inserida a batimetria de detalhe coletada e processada neste trabalho para a área da Enseada do Pântano do Sul.

Na etapa de elaboração das malhas foi levado em conta as principais direções dos casos de onda para a região (entre 45° e 180°).

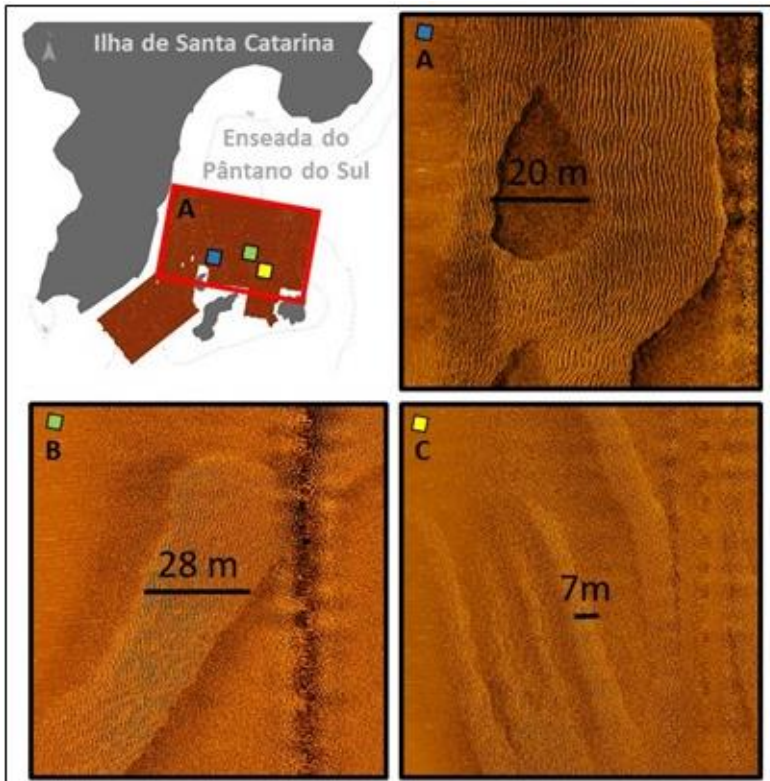
Foram geradas quatro malhas de propagação (60°N, 90°N, 120°N e 150°N) com espaçamento de 100 metros entre pontos e quatro malhas aninhadas de 25 metros entre os pontos. Para a propagação dos casos de ondas foram selecionados 25 casos com melhor representação da série contida no ponto DOW (água profunda) selecionado. Sendo que a série é reconstruída em águas rasas pelo método de interpolação de dados.

Os pontos onde o fluxo de energia médio foi gerado, foram definidos através da localização das feições sedimentares observadas e classificadas anteriormente. A reconstrução do fluxo médio de energia de ondas em águas rasas foi realizada no módulo SMC Tools – IH Dynamics. Onde se resultaram as direções e o valor do fluxo de energia em cada ponto selecionado. Por fim, a última etapa foi a sobreposição dos vetores de fluxo de energia ao mapeamento geoacústico realizado para posterior análise de relação com o padrão de formação das feições encontradas na área de estudo.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

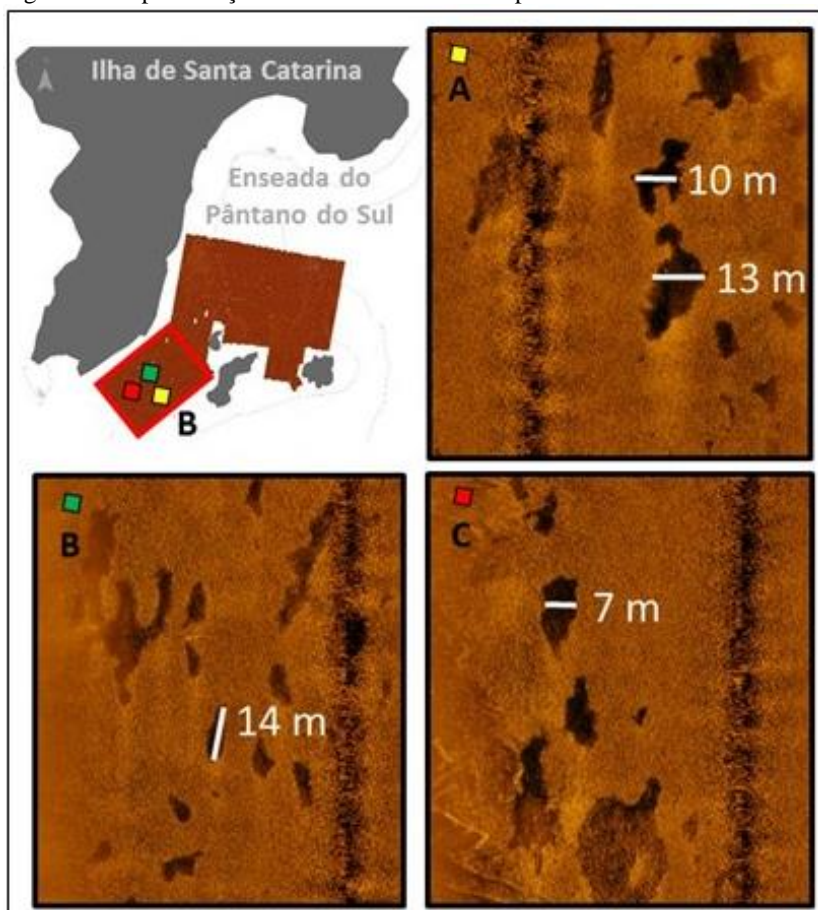
O LH teve 200 km navegados e 20 km² de área mapeada. Foram identificadas na zona A do levantamento as feições classificadas como *rippled scour depressions* ou *sorted bedforms* (Figura 36), com comprimento de onda variando entre 1 a 1,20 m e entre 0,05 a 0,20 m de altura, corroborando com os resultados obtidos por Souza (2007). No quadro A (Figura 36), a extensão mapeada mais protegida hidrodinamicamente, apresentou as ondulações mais desenvolvidas da zona, com comprimento entre cristas de 1,20 m e altura de 0,20 m. Sendo que, as áreas mais expostas obtiveram menores valores nas dimensões da feições (Figura 36, B e C).

Figura 36. Representação das marcas onduladas mapeadas na área da enseada do Pântano do Sul. Quadro A: comprimento: 1,20 m e altura: 0,20 m. Quadro B: comprimento: 1,0 m e altura: 0,08 m. Quadro C: comprimento: 1,0 m e altura: 0,06 m.



Na zona B do mapeamento foram observadas manchas escuras, até então não relatadas na literatura (Figura 37). As manchas tem formatação disforme, de alongadas a arredondadas e de 5 até 30 m de extensão, porém, apresentam padrão pelo fato de estarem concentradas somente nesta zona (B), paralelas a linha de costa e com direção de Sudoeste (SO) para Nordeste (NE). Não existem dados sedimentológicos sobre as manchas, dessa forma, não é possível afirmar do que se trata a composição. A área em que se encontram é altamente exposta as ondulações mais intensas (S e SE) e dessa forma levanta-se como motivo a não coexistência das marcas onduladas na mesma região destas.

Figura 37. Representação das manchas escuras mapeadas.

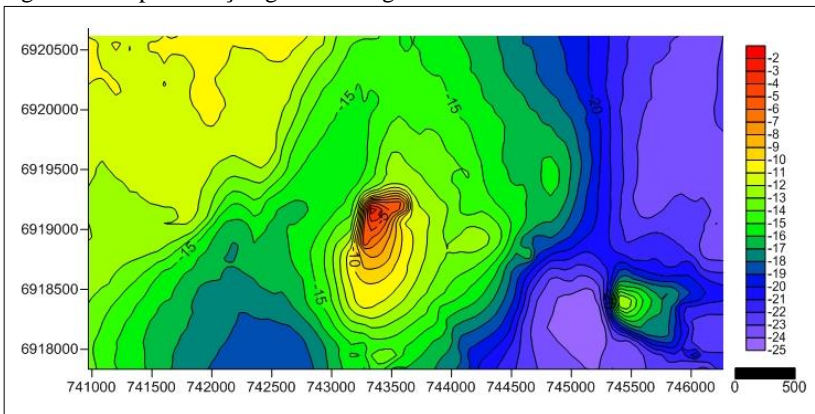


5.3.1 Geomorfologia

A geomorfologia da superfície de fundo da Enseada do Pântano do Sul foi obtida através da análise batimétrica. Na interpretação desta análise é possível verificar duas áreas diferentes marcadas pela isóbata de 15m (Figura 38). Esse limite, basicamente, norteia as áreas de ocorrência das feições detectadas. Onde, nas regiões de até 15m foram mapeadas as feições RSD ou SB, na zona A central da enseada, protegida pelas Ilhasirmã de Dentro e do Meio. Já, em profundidades superiores a 15m estão dispostas as manchas escuras. Ainda na zona superior a 15m, marcas onduladas foram detectadas, porém com menores dimensões e expressividade na cobertura mapeada. As manchas escuras variaram entre as profundidades de 16 a 20m, porém somente no extremo SO do mapeamento.

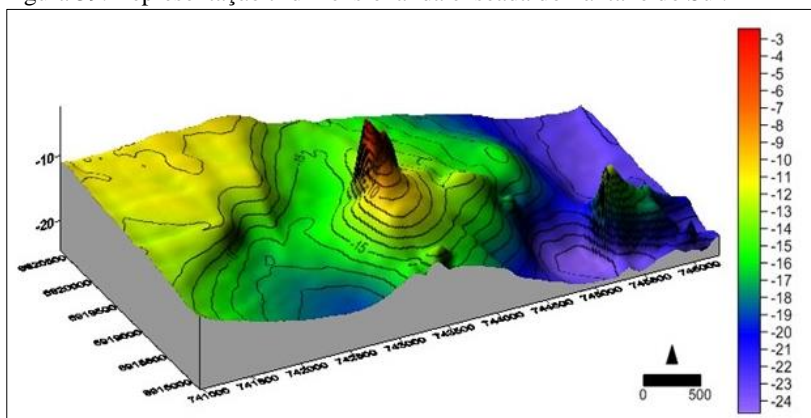
A isóbata de 15m também é destacada no trabalho de Souza (2007), aonde ele verifica um terraço marinho nesta profundidade e relaciona sua formação ao segundo nível de estabilização da Transgressão Holocênica, entre 11.000 e 6.500 AP a -20/-25 (Corrêa, *et al.* 1996). Dessa forma, assim como no mapeamento deste trabalho o leito apresenta feições sedimentares diferentes em cada limite, isto pode significar formas distintas de interação das correntes locais com o fundo a partir da zona identificada nestes trabalhos (-15m). Souza (2007) ainda, define a isóbata de 15 m como profundidade de fechamento para alturas de ondas médias, e a isóbata de 19 m para alturas maiores que a média. Com isso, ressaltam-se as diferentes formas de fundo encontradas nas zonas hidrodinâmicas separadas pelo limitante fisiográfico de 15 m.

Figura 38. Representação geomorfológica da enseada do Pântano do Sul.



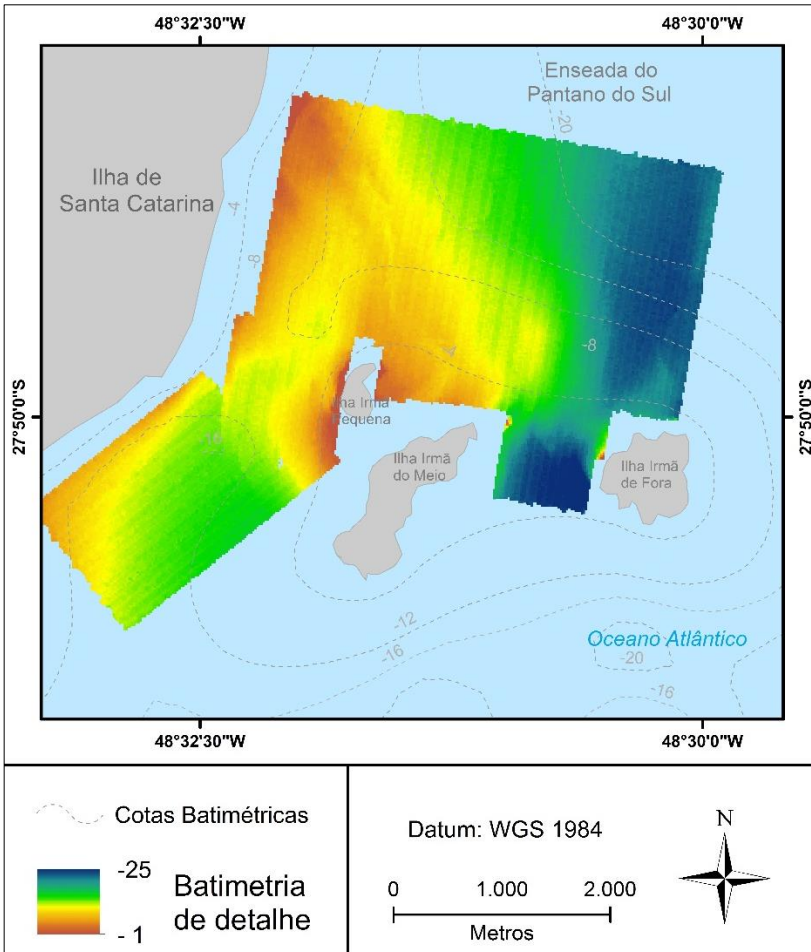
As feições de fundo onduladas estiveram presentes em praticamente todas as faixas batimétricas mapeadas (5 a 25m), porém a maior ocorrência (70%) foi entre 13 e 15m, zona em verde da representação tridimensional batimétrica (Figura 38). Assim como em Souza (2007) nesta representação se observa um canal entre as ilhas Irmãs do Meio e de Fora que segue no sentido Sudoeste para Nordeste. A presença das ilhas Três Irmãs como parte do arcabouço estrutural do embasamento cristalino influencia na hidrodinâmica local. A disposição das ilhas voltadas para a entrada das maiores ondulações, faz com que as correntes geradas sejam canalizadas para dentro da enseada provocando maior arraste no fundo. Os processos deposicionais combinados com a hidrodinâmica atual compõem as feições identificadas na área mapeada. A representação tridimensional do relevo submerso revela o platô na profundidade de 15 m, relacionado a área de desenvolvimento das feições RSD (Figura 39). Este ambiente protegido hidrodinamicamente das maiores forçantes da região se mostra mais plano do que as outras áreas e concentra sedimentos de granulometria grossa (0 a 2 phi) como cascalhos (SOUZA, 2007). Já as áreas a partir de 15 metros demonstram uma diferenciação na configuração da enseada, evidenciadas pela composição sedimentar de menor diâmetro (2 a 4 phi) (SOUZA, 2007). Ainda na análise granulométrica de Souza (2007), os valores de assimetria muito negativa próximos as ilhas Irmã de Dentro e do Meio demonstram alto poder de erosão nessas áreas, reforçando a questão do arraste de fundo nesta zona para a formação das feições identificadas como RSD. Mostrando que as correntes geradas antes dos 15 metros não são capazes de remobilizar o fundo.

Figura 39. Representação tridimensional da enseada do Pântano do Sul.



No processamento batimétrico de detalhe não foi possível identificar as feições com os detalhes vistos no processamento das imagens. No entanto, observa-se uma sensível mudança de profundidade na região (de aproximadamente -1 m) onde estão as marcas onduladas mais proeminentes da área mapeada (Figura 40). A área coberta pela feição RSD dá início ao norte da Ilha Irmã do Meio e segue na direção Noroeste, exatamente a zona de sombra das ondulações de Sudeste provocada pelas ilhas Irmãs do Meio e Pequena.

Figura 40. Batimetria de detalhe derivada do processamento de dados de interferometria.



A partir da batimetria de varredura lateral (Figura 40), a zona A apresenta um declive iniciando próximo da costa até a áreas mais afastadas mapeadas. Neste perfil foi possível identificar a variação batimétrica a qual a ondulação está submetida. Na região de sombra provocada pelas ilhas Irmãs de Dentro e de Fora, e onde ocorreram a maior parte das feições observadas, também é a área de menor profundidade no mapeamento. A zona B também demonstra variação batimétrica, porém é mais suave em sua progressão, iniciando rasa próxima a costa e aumentando à medida que se afasta dela.

Uma representação esquemática (Figura 41) das feições encontradas no mapeamento foi feita para compreender a distribuição destas no ambiente. Inicialmente fica claro o maior desenvolvimento das formações sedimentares na região de sombra comentada acima. Com demais aparições das marcas onduladas em outros pontos, como logo na porção rasa do canal formado entre as ilhas Irmã do Meio e de Fora e na borda externa e mais profunda do mapeamento.

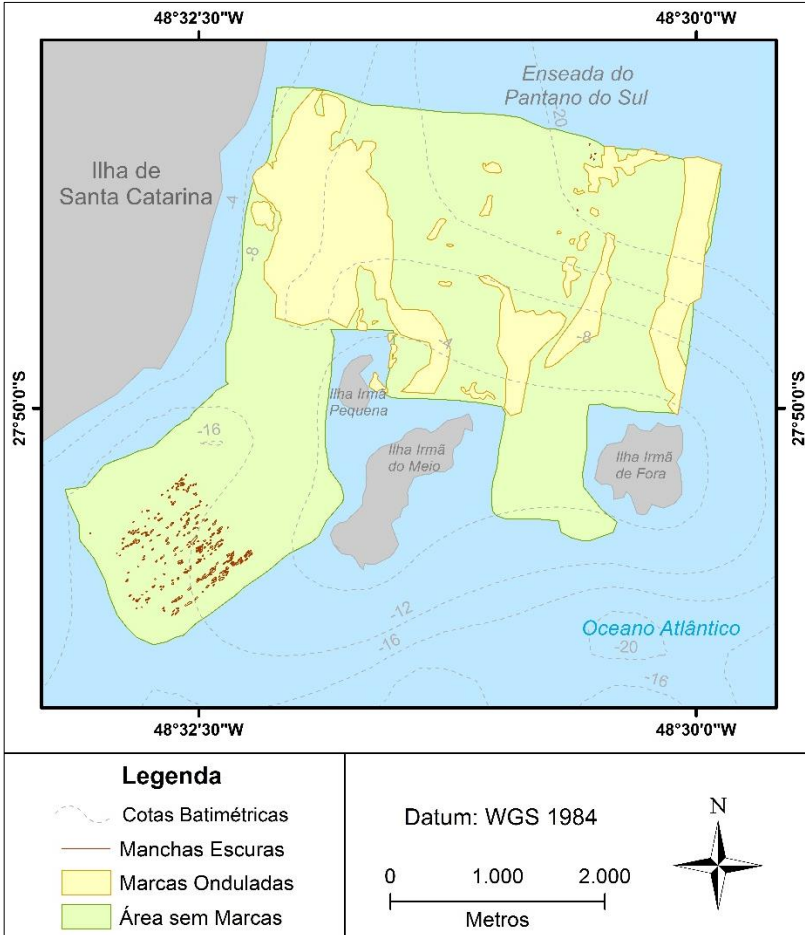
Ainda na zona de sombra, as marcas onduladas apresentam diferenciação quanto as suas dimensões. Sendo que, quanto mais protegida das ondulações, mais proeminentes são essas marcas. Elas apresentam menores altura e comprimento nos extremos da área, sendo a parte central atribuída as maiores dimensões de ondulações. As marcas vistas podem se estender na região da enseda conectando com as verificadas nesse mapeamento.

As manchas escuras representadas no esquema (Figura 41) aparecem na zona chamada de B. Elas estão concentradas na porção mais profunda desta zona e de forma geral seguem uma tendência de alinhamento paralelo a linha de costa. Estas ainda apresentam em sua maioria, um formato alongado no sentido sudeste/noroeste. Por não haverem dados de granulometria diretamente sobre as marcas não é possível que se afirme a natureza litológica dessas manchas. Porém, observando o mapeamento granulométrico de Souza (2007), e extrapolando o alcance de suas amostras, pode se inferir que a zona é coberta por uma camada sedimentar de areia litoclástica fina a muito fina.

Assim sendo, essas manchas poderiam vir a ser, concentrações destas frações sedimentológicas que se acumularam devido algum processo hidrodinâmico local. Possivelmente da combinação da influência do aporte de material fino provindo da Baía Sul, localizada ao Sul das manchas, somado a entrada da ondulação diretamente sobre a zona B, e mais, a ondulação que passa entre as Ilhas Irmã do Meio e de Fora contorna a ilha Irmã de Dentro e segue sentido norte/sul.

Desta forma, as feições identificadas na enseada do Pantano no Sul compõem dois grupos diferentes que serão apresentados entre Zona “A” e Zona “B”. A Zona A foi subdividida em duas porções, porção Leste e Central, para a melhor compreensão das diferentes formações encontradas nesta zona.

Figura 41. Representação esquemática das feições identificadas na enseada do Pantano do Sul.



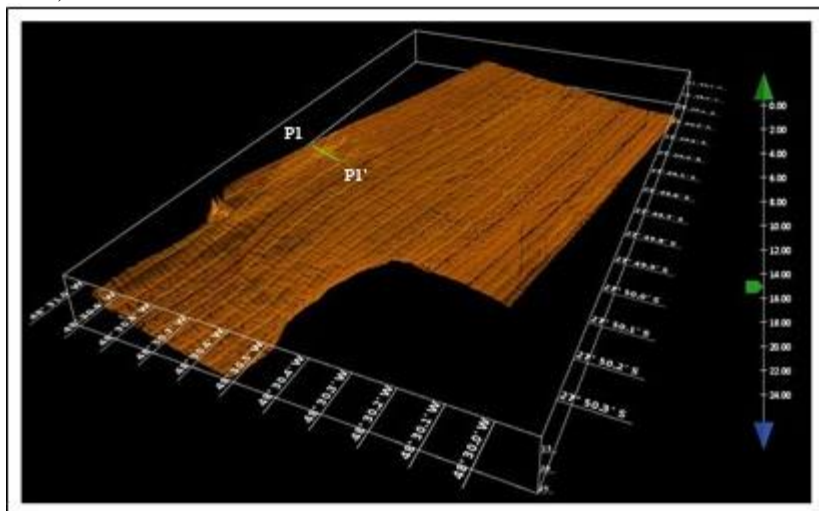
5.3.2 Mapeamento: Zona A

O mapeamento da enseada do Pantano do Sul foi dividido em duas zonas. A zona “A” é caracterizada por apresentar em toda sua extensão marcas onduladas ou áreas sem marcas. Nestas condições foram identificadas diferentes medidas de ondulações nos diversos pontos da área coberta, desde a costa, na isóbata de 4 m até profundidades maiores.

A porção desta zona que apresentou a menor cobertura de feições sedimentares com marcas onduladas na superfície, foi a partir do limite exterior da ilha Irmã do Meio até o limite *offshore* do LH, chamada de porção leste da Zona A. Na representação tridimensional desta área (Figura 42) foi possível observar a declividade entre as ilhas Irmã do Meio e de Fora, formando uma espécie de rampa íngreme para oeste desta área e de forma plana e suave para o norte.

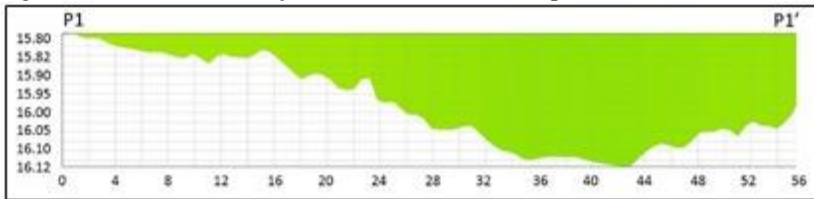
As feições das zonas foram identificadas a partir das análises de imagens de sonar de varredura lateral. Para a zona A as marcas onduladas da porção leste foram as de menor representatividade em relação a cobertura total e também em relação as dimensões das marcas presentes. As feições consideradas assimétricas, atingiram os máximos de comprimento de onda de 0,5 m e altura de onda 0,2 m.

Figura 42. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul (porção Leste da Zona A) com sistema interferométrico (exagero vertical: 15 m).



Ainda na porção leste da zona A, é possível acompanhar um perfil (Figura 43) traçado sobre uma feição mais desenvolvida. O perfil dá início a oeste (P1) e segue em direção *offshore* (P1'). Este perfil apresenta uma suave depressão de 0,3m, onde as pequenas marcas onduladas estão alocadas. As bordas da depressão não apresentam ondulações, mas um fundo plano e aparentemente com sedimentologia diferente da depressão, visto que, a maior intensidade no retorno do sinal, ou seja, uma imagem mais clara dá a entender sedimento mais consolidado ou mais grosso, diferentemente de uma intensidade baixa, que diz respeito a sedimentos mais finos e coesos.

Figura 43. Perfil sobre a feição RSD na Zona A do mapeamento.

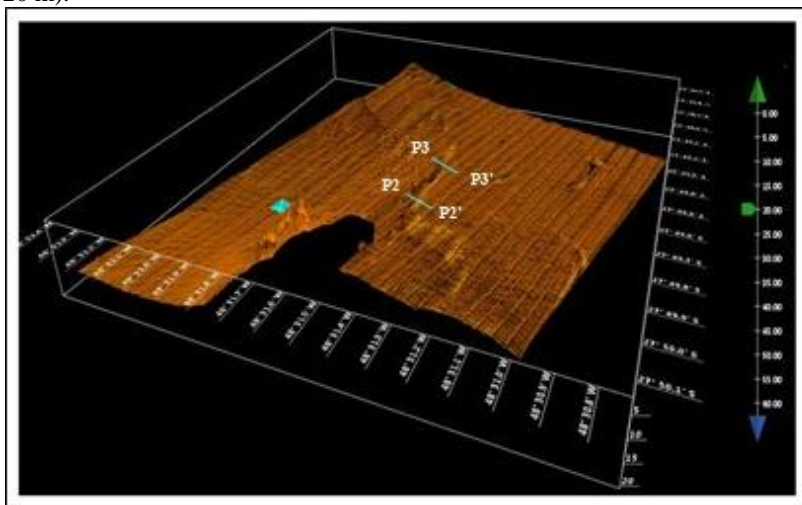


Na representação tridimensional da porção central da zona A (Figura 44), foram encontradas as marcas onduladas mais relevantes do mapeamento na enseada do Pantano do Sul. A porção se estende desde o limite externo da ilha Irmã do Meio até a região mais rasa mapeada próxima a costa, alcançando uma porção ao sul em continuidade a linha de costa. As marcas dão início ao norte da ilha Irmã do Meio e se estendem a noroeste, numa mancha que cobre praticamente toda zona de sombra causada por estas duas ilhas.

Na análise de imagens do sonar de varredura é evidente a diferenciação de intensidades no sinal de retorno, a impedância acústica mais alta nos locais onde as marcas onduladas estão presentes. Nesta porção as marcas apresentam comprimento de onda na média de 0,7 m e altura média de 0,3 m, inseridas em suaves depressões de 100 metros de largura a 400 metros de extensão. Por vezes apresentam continuidade e em outras são interrompidas por camadas homogêneas sem marcas aparentes, corroborando com o que foi definido para estas feições (CACCHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004).

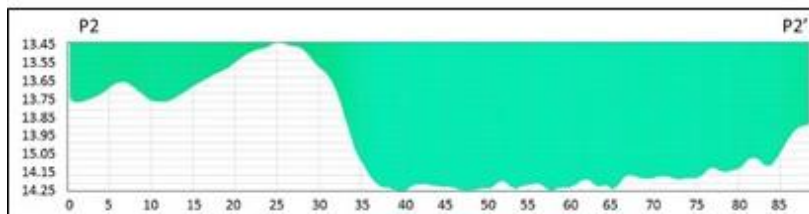
Os perfis apresentados sobre a representação tridimensional da área de estudo (Figura 44), exibem o que acontece em alguns pontos do leito, desde o início da feição como um todo (P2) seguindo na direção (P3) norte, acompanhando as mudanças no fundo para este trecho do mapeamento na enseada.

Figura 44. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul (porção central da Zona A) com sistema interferométrico (exagero vertical: 20 m).



No perfil P2 a depressão é de 0,8 m, sendo maior em P2 e suavizando à medida que se estende para P2', na direção *offshore*. O canal formado nesta zona é de aproximadamente 50 m de largura e tende a diminuir esta medida na direção noroeste. A formação das marcas onduladas é vista na depressão, porém nos contornos desta ela não está presente, assim como Cacchione, *et al.* (1984), pioneiramente, descrevem as RSD.

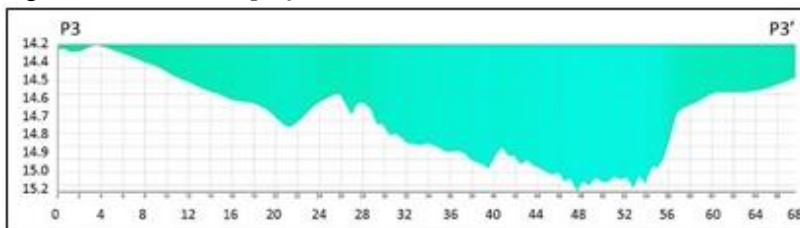
Figura 45. Perfil P2 na porção central da zona A.



No perfil 3 (Figura 46) a depressão é de 1,0 m no ponto máximo, iniciando suave em P3 e se tornando mais profunda à medida que se afasta da costa. Neste perfil, a depressão continua tendo por volta de 50 m de extensão, porém, o lado direito apresenta maior profundidade, se

assemelhando a um canal, em comparação ao lado esquerdo, o qual apresenta inclinação suave. Assim como no P2, o P3 contempla as marcas onduladas no leito da depressão, adjacentes a um fundo plano. Neste caso, as marcas apresentam menores alturas e comprimentos de onda. Para a porção central da zona “A”, os perfis analisados compõem uma mesma feição (RSD), no entanto é possível verificar como esta estrutura sedimentar não é homogênea e varia ao longo do espaço.

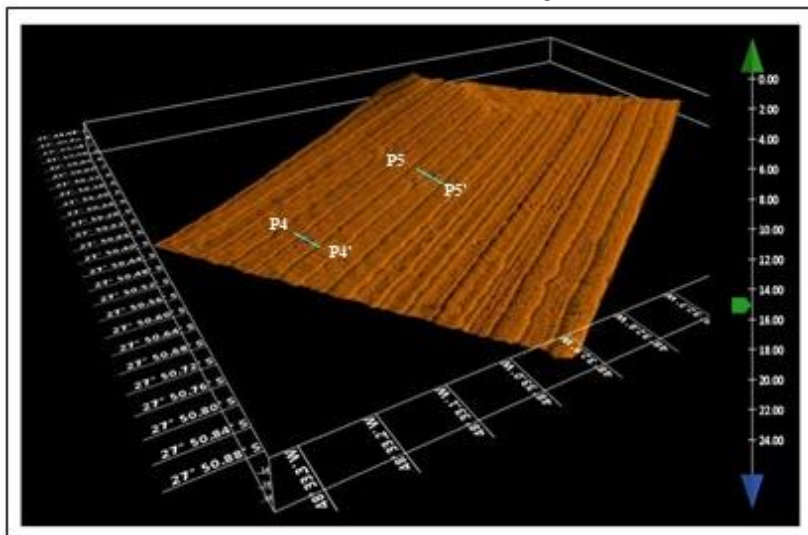
Figura 46. Perfil P3 na porção leste da zona A.



5.3.3 Mapeamento: Zona B

A zona “B”, refere-se ao mapeamento interferométrico feito a sudoeste das ilhas Irmã Pequena e do Meio. É nesta zona que foram detectadas as manchas escuras na enseada do Pântano do Sul. Na representação tridimensional (Figura 47) se observa um leito plano para esta área sem as marcas onduladas vistas na zona anterior (Zona A).

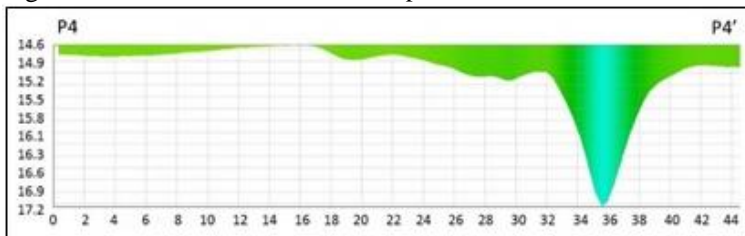
Figura 47. Representação tridimensional do mapeamento na Enseada do Pântano do Sul – (Zona B) com sistema interferométrico (Exagero vertical: 15 m).



As manchas escuras destacadas nesta zona apresentaram padrão de disposição no leito da enseada, verificadas facilmente no processamento da sonografia. Porém, na análise batimétrica estas feições não foram identificadas com clareza. Ainda assim, com o produto da união dos dados de imagem com profundidade (Figura 47), foi possível identificar alguns pontos de conexão entre essas informações.

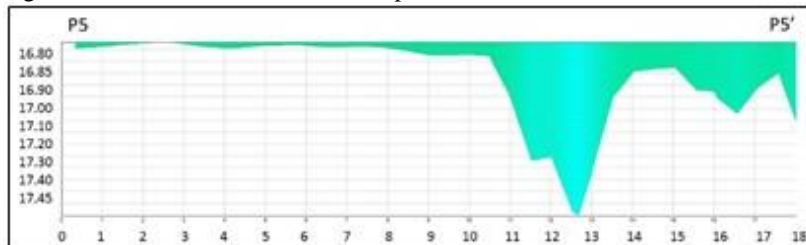
O primeiro ponto de destaque é o Perfil 4 (Figura 48) apresentado com a sobreposição dos dados revela uma variação de 2 m de profundidade com largura de aproximadamente 5 m, em comparação as áreas no entorno que se mantêm na isóbata de 15 m. Esta depressão foi associada a uma “mancha escura” no sul do mapeamento. Por se tratar de uma impedância acústica baixa, levanta-se como hipótese que sejam acúmulos de sedimento fino, porém, sua formação não está clara.

Figura 48. Perfil P4 no setor sul do mapeamento.



O perfil 5 (Figura 49) também apresentou depressão, porém mais suave que em P4 e a variação de profundidade neste ponto foi de 0,65 m. As variações de profundidades nos pontos das manchas escuras ficaram entre os valores apresentados nestes dois perfis (P4 e P5) e podem ser usadas como base para investigar o desenvolvimento dessas feições encontradas somente na esta área da enseada. Aponta-se ainda, a possibilidade de haver mais das manchas ao sul das que foram detectadas neste mapeamento.

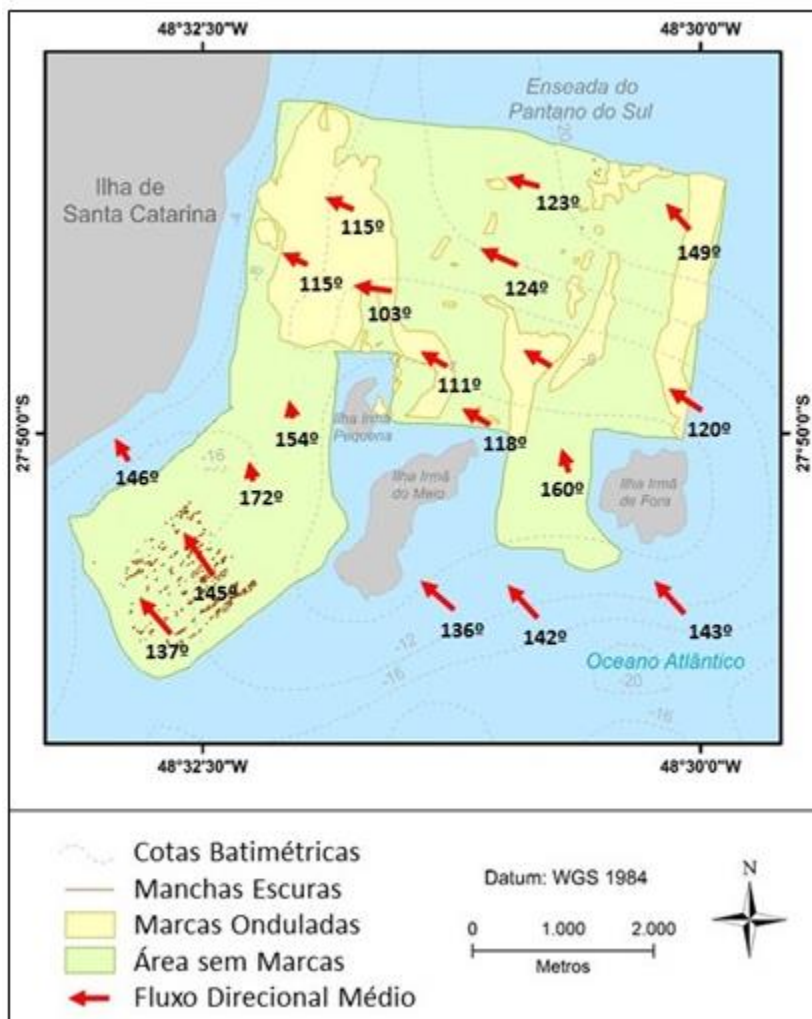
Figura 49. Perfil P5 no setor sul do mapeamento.



5.3.4 Propagação de Ondas - Fluxo de Energia sobre as Feições Sedimentares Identificadas na Enseada do Pantano do Sul

A sobreposição dos vetores de fluxo direcional médio de energia nas feições sedimentares (Figura 50) mapeadas colaboraram para a compreensão da formação destas. Os valores dos fluxos direcionais variaram entre as zonas “A” e “B” conforme a fisiografia do ambiente.

Figura 50. Fluxo direcional médio sobreposto as feições identificadas na Enseada do Pântano do Sul.



Sendo as ondulações e vagas que incidem a enseada, predominantemente, do quadrante sul (*swells*) e leste (*sea waves*), as resultantes do fluxo direcional médio para os pontos verificados sobre a área mapeada (Figura 50) oscilaram entre estes quadrantes, variando entre 103° (leste) a 172° (sul). De forma geral é possível observar que as ondas

chegam na enseada com uma intensidade média de 22170 J/m.s e direção média de 140° e se transformam a medida que a morfologia se altera.

Para a zona “A” do mapeamento, as taxas de fluxo direcional médio apresentaram diminuição na intensidade e rotação da direção sudeste para leste depois da passagem das ondas pelo canal formado entre as ilhas Irmã do Meio e Irmã de Fora. Nas áreas de maior proteção das ondulações, foi maior o efeito de rotação do fluxo de energia e também, relacionadas diretamente com as marcas onduladas mais desenvolvidas de todo o levantamento. Ou seja, quanto mais perpendicular à costa for a incidência das ondas, mais desenvolvidas serão as RSD para esta área. Embora alguns autores (CACCHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004) definam a predominância das orientações destas marcas onduladas sendo transversais ao litoral, nesta área elas se mostraram paralelas. No entanto, a orientação das ondulações, transversal aos fluxos hidrodinâmicos, está de acordo com o que é relatado para a classificação destas formas.

Diferentemente da zona “A”, os fluxos direcionais na zona “B” apresentaram intensidades altas e as direções não foram alteradas pela morfologia. Sobre as manchas escuras destacam-se os maiores vetores de fluxo direcional médio. Entretanto, a medida que as ondas seguem para o norte as taxas de fluxo diminuem sensivelmente de intensidade. Como essas manchas escuras foram relacionadas neste trabalho a composição sedimentar fina, por conta da baixa impedância acústica para estas áreas no mapeamento, a possibilidade de haver uma área com deposição de material fino e alta hidrodinâmica ao mesmo tempo se tornou duvidosa. Porém, a hipótese proposta para este caso, é de que correntes de maré, escoando de norte a sul e correntes vindas do escoamento da Baía Sul, de sul para norte, podem estar anulando ou diminuindo consideravelmente a intensidade do fluxo direcional médio sobre estes pontos e dessa forma, tornando possível a deposição de material mais fino em um padrão de alinhamento. Tendo em vista, que dados de correntes de maré e correntes de escoamento da provindos da Baía Sul não foram analisados e estão sendo apontados como coadjuvantes para a formação das feições sedimentares identificadas neste levantamento.

5.4 CONCLUSÕES

A partir do mapeamento de fundo da Enseada do Pantano do Sul com a utilização de interferometria associada a amostras sedimentares pretéritas (SOUZA, 2007) e informações de fluxo de energia, foi possível caracterizar a área quanto a sua geomorfologia.

As feições já destacadas por Souza (2007) e Souza & Corrêa (2006), como *Rippled Scour Depressions* ou *Sorted Bedforms*, foram identificadas na maior parte do mapeamento com diferentes dimensões ao longo da área estudada. A formação destas marcas foi associada ao regime de ondas na área (Sul, Sudeste e Leste), que arrasta de tempo em tempo a camada sedimentar mais fina da superfície de fundo deixando exposta a camada de sedimentos mais grossos.

As intensidades e direções do fluxo de energia sobre as feições mostraram relação direta com as marcas onduladas formadas. Quanto a direção das ondas que atingem a região, foi possível notar um giro de sul/sudeste para leste a partir do momento que começam a adentrar na enseada por conta da difração das ondas que encontram como obstáculo as Ilhas Irmãs do Meio e de Fora. Dessa forma, as marcas onduladas centrais ficam alinhadas perpendicularmente a direção das ondas, corroborando com a teoria desenvolvida para as RSD (CACCHIONE *et al.*, 1984; MURRAY & THIELLER, 2004).

A segunda formação importante detectada através do mapeamento, foram manchas escuras a sudoeste da área estudada, na zona B. Estas manchas apareceram como um padrão, paralelas a linha de costa e concentradas em um mesmo setor. Por meio da união do modelo tridimensional com as imagens de *side-scan sonar* para a área das manchas, levantou-se como hipótese que estas sejam depressões com acúmulo de sedimento fino, devido à baixa reflectância nas depressões. Por não haverem amostras sedimentares nesta área, não foi possível comprovar a hipótese levantada para estas manchas. Na área onde estas foram identificadas, o fluxo energético é maior do que em todas as outras partes do levantamento. Desta forma, acredita-se que por isso as marcas onduladas não se formam nesta região.

Dessa forma, as ondulações que devem interferir de forma mais eficaz a superfície de fundo da enseada são as provindas de Leste ou as chamadas “lestadas”. Estes fluxos estão perpendiculares as marcas onduladas e assim possibilitam a formação das RSD nas áreas observadas. Do mesmo modo os fluxos de leste depositam os sedimentos finos em áreas mesmo afetadas pela hidrodinâmica, que pode ser a área de sombra ou simplesmente não os remobilizando nessa região.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Síntese dos Resultados e Conclusões

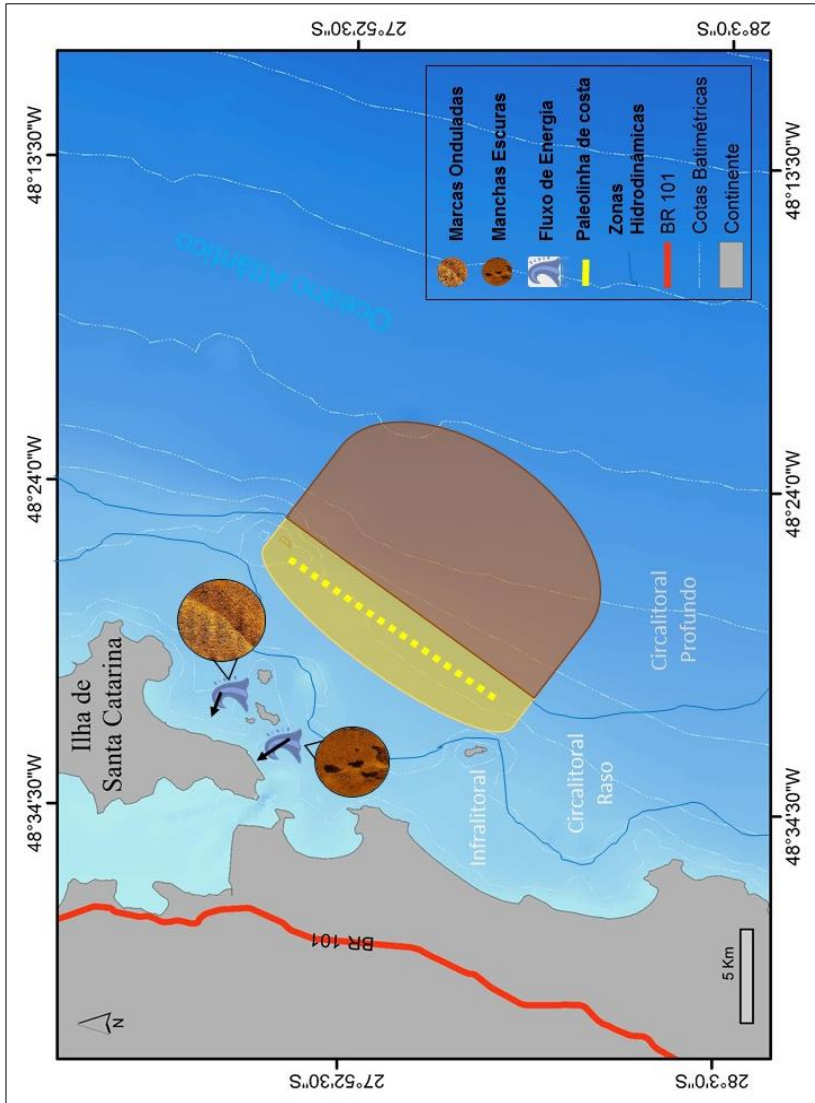
O trabalho teve como objetivo caracterizar o relevo de fundo identificando feições e padrões geomorfológicos e sua relação com a dinâmica local e formação geológica, na plataforma continental interna da Enseada do Pantano do Sul desde as proximidades das Ilhas Três Irmãs e da Ilha de Santa Catarina até a profundidade de 60 metros. Testando a hipótese de que a evolução quaternária e os processos atuantes na plataforma continental interna próxima à porção sul da Ilha de Santa Catarina aparentemente criaram padrões geomorfológicos complexos que devem refletir na distribuição sedimentar local.

Como conclusão deste trabalho, aceita-se essa hipótese previamente estabelecida e de acordo com os platôs de estabilização do nível médio do mar identificados neste trabalho (15m e 42m) e formados em momentos diferentes da história geológica, pode-se constatar a sua influência na indução de padrões geomorfológicos e assim na formação de feições sedimentares na atualidade.

O mapa síntese (Figura 51) engloba as principais considerações observadas neste trabalho. Como a caracterização sedimentológica na área do levantamento INCT, aonde a paleolinha de costa, antes citada pela bibliografia, aparece composta de sedimento cascalhoso e biodetrítico. Para a sua adjacência com uma forte depressão a *offshore* a composição sedimentar passa a ser fina e pobre em detritos biológicos.

Na enseada do Pântano do Sul, a isóbata de 15 m, platô de estabilização da segunda Transgressão Holocênica, juntamente com a configuração fisiográfica da área define a zona de formação de feições sedimentares para a região mais abrigada e de sombra, no entorno interno das Ilhas Três Irmãs. A partir da isóbata de 15m e na zona mais exposta do mapeamento, manchas escuras foram detectadas e como pressuposição se caracterizou como acúmulos de sedimentos finos.

Figura 51. Mapa síntese representando os processos e estruturas que ocorrem na região estudada.



6.2 Restrições do Trabalho

Como restrições desse trabalho listam-se alguns pontos:

- Número reduzido de pontos batimétricos para análise com a técnica BTM, podendo limitar a identificação de zonas e estruturas presentes na área;
- Número reduzido de amostras sedimentológicas superficiais na análise em escala geral, podendo comprometer as associações sedimentológicas e batimétricas.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

A partir das conclusões, considerações finais e limitações desse trabalho algumas sugestões para trabalhos futuros são listadas abaixo:

- Coletar sedimentos sobre as manchas escuras para validação da pressuposição proposta neste trabalho;
- Coletar dados de correntes próximo ao fundo, nas feições e fora delas para compreender com nível de detalhe a formação dessas feições;
- Análise estatística de correlação entre dados de correntes e dos sedimentos coletados com as feições identificadas;
- Coletar dados na subsuperfície da área estudada, principalmente sob as feições mapeadas, afim de compreender o embasamento que mantém as feições (fonte acústica: Boomer);

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. G. N. **Sedimentologia, Sismoestratigrafia e Evolução da Plataforma Continental Interna na Área sob Influência dos Rios Itajaí-Açu e Camboriú, Litoral Centro-Norte de Santa Catarina.** Tese de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande Sul, 140 p. 2010.

ABREU. J. G. N., & CALLIARI. L. J. (2005). Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. **Revista Brasileira de Geofísica**. vol. 23 no.2 São Paulo Apr./June 2005.

ABREU. J, G, N. **Contribuição à Sedimentologia da plataforma interna de Santa Catarina entre a Foz dos Rios Tijucas e Itapocú.** Dissertação de Mestrado, 1998.

ALVES, J.H.G.M. & MELO, E. Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v.49, p.13-28, 2001.

ALVEIRINHO DIAS, J. M. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. 2004. **Disponível em** <http://w3.ualg.pt/~jddias/JAD/eb_Sediment.html>. Acesso: 15/08/2015.

ANDRADE, M.M., TOLDO, E.E. & NUNES, J.C. Variabilidade das correntes na plataforma interna ao largo de Tramandaí, RS durante o verão de 2014. **Pesquisas em Geociências**, 43 (3): 289-298. 2016.

ANGULO R.J. & SUGUIO K. **Re-evaluation of the maxima of the Holocene sea-level curve for the State of Paraná, Brazil.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112:385-39. 1995.

ARAÚJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, E. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: **Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka. p, 15. 2003.

ASHLEY, G.M. Classification of Large-Scale Subaqueous Bedforms: A New Look at an Old Problem. **SEPM Bedforms and Bedding Structures Symposium**, Austin – Texas, 13p. 1990.

AYRES A & THEILEN F. Relationship between P- and S-wave Velocities and Geological Properties of Near-surface sediments of the Continental Slope of the Barents Sea. **Geophysical Prospecting**, 47: 431–441. 1999.

BIGARRELA, J.J. Subsídios para o estudo das variações de nível oceânico no quaternário brasileiro. In: **Academia Brasileira de Ciências. Anais...** v.37, p. 263-278. 1965.

BELLEÇ, V.K., BOE, R., RISE, L., SLAGSTAD, D., LONGVA, O. & DOLAN, M.F.J. Rippled scour depressions on continental shelf bank slopes off Nordland and Troms, Northern Norway. **Continental Shelf Research**. 30.1056–1069. 2010.

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

CALAZANS, D. **Estudos Oceanográficos: do Instrumental ao Prático**. Ed. Textos. Rio Grande do Sul. 462 p. 2011.

CALAZANS, P.P & DOMINGUES, A.L. Implantação e funcionalidade de um sistema de informação geográfica mineral na Companhia Vale do Rio Doce – CVRD. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, p.1979-1986. 2007.

CÂMARA, G. & DAVIS, C. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São Paulo: INPE, 2001.

COCO, G., MURRAY, A.B. & GREEN, M.O. Sorted bed forms as self-organized patterns: 1. Model development. **Journal of Geophysical Research**, vol. 112, 2007.

CORRÊA, I.C.S. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-B&Sill. **Marine Geology**. 130. p, 163-178. 1996.

CORRÊA, I.C.S. & VILWOCK, J.A. Explanatory text of the Atlas: Morphology and sedimentology of Southwest Atlantic coastal zone and continental shelf Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdez (Argentina). Instituto de Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 74p. 1996.

COOKE, C.V. Análise de dados ecobatimétricos provenientes de cruzeiros de prospecção de recursos vivos realizados entre Fortaleza (CE) e Chuí (RS) com enfoque na morfologia e tipos de fundo. **Curso de Oceanologia na Fundação Universidade Federal do Rio Grande**. 2005.

COOPER, J.A.G, GREEN, A.N., MEIRELES, R. P., KLEIN, A.H.F., SOUZA, J. & TOLDO, E.E. Sandy barrier overstepping and preservation linked to rapid sea level rise and geological setting. **Marine Geology**. 382. p, 80–91. 2016.

COWELL, P. J. & THOM, E. G. Morphodynamics of coastal evolution. In: R. W. G. Carter; C. Woodroffe (Orgs.); **Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics**. 1^o ed, v. 1, p.1–538, Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

DAVIS, A.C.D., KVITEK, R.G., MULLER, C.B.A., YOUNG, M.A., STORLAZZI, C.D. & PHILLIPS, E.L. Distribution and abundance of rippled scour depressions along the California coast. **Continental Shelf Research**. 69. 88–100. 2013.

DEAN, R.G., & DALRYMPLE, R.A. **Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists**, World Sci., Singapore, 1984.

DUARTE, G. M. **Estratigrafia e evolução do plano costeiro da ilha de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRGS. 279p. 1981.

FERRINI, V.L. & FLOOD, R.D. A comparison of Rippled Scour Depressions identified with multibeam sonar: Evidence of sediment transport in inner shelf environments. **Continental Shelf Research**. 25. 1979–1995. 2005.

FLEMMING, B.W. A Revised Textural Classification of Gravel-Free Muddy Sedimentation the Basis of Ternary Diagrams. **Continental Shelf Research**, 20, p. 1125-1137, 2000.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27:3-27. 1957.

GARCEZ, D. S & MUEHE, D. (2005). A plataforma continental brasileira e sua relação com a zona costeira e a pesca. **Revista de Geografia da UFC**, ano 04, número 08, 2005.

GARNAUD, S., LESUEUR, P. & GARLAN, T. Origin of rippled scour depressions associated with cohesive sediments in a shoreface setting (eastern Bay of Seine, France). **Geo-Marine Letters**. 2005.

GRÉ, J. C. R. Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina – **Brasil. Geosul**. Pg: 94 a 98. 1989.

GREEN, M.O., VINCENT, C.E & TREMBANIS, A.C. Suspension of coarse and fine sand on a wave-dominated shoreface, with implications for the development of rippled scour depressions. **Continental Shelf Research**. 24. 317–335. 2004.

GREEN, A. & GREEN A. Formation and preservation of an overstepped segmented lagoon complex on a high-energy continental shelf. **International Association of Sedimentologists**. 2013.

GOFF, J.A, MAYER, L.A., TRAYKOVSKI, P., BUYNEVICH, I., WILKENS, R., RAYMOND, R., GLAD, G., EVANS, R.L., OLSON, H. & JENKINS, C. Detailed investigation of sorted bedforms, or “rippled scour depressions,” within the Martha’s Vineyard Coastal Observatory, Massachusetts. **Continental Shelf Research**. 25. 461–484. 2005.

GOLDSTEIN, E.B., COCO, G., MURRAY, A.B & GREEN, M.O. Data-driven components in a model of inner-shelf sorted bedforms: a new hybrid model. **Earth Surface Dynamics**. 2, 67–82, 2014.

HALLERMEIER. R. J. Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles. Coastal

Engineering Technical Aid No. 81-2, **Coastal Engineering Research Center**, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 1981.

HAYES, M. P. & GOUGH P. T. Synthetic aperture sonar: a review of current status. **Oceanic Engineering, IEEE Journal**. Vol. 34, no. 3, pp. 207–224, 2009.

HOLTHUIJSEN, L.H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters**: Cambridge University Press, Cambridge, 387p. 2007.

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

IERODIACONOU, D., BURQ, S., RESTON, M. & LAURENSEN, L. **Marine habitat mapping using multibeam data, georeferenced video and image classification techniques: a case study in south west Victoria**, in GIS for the coastal zone : a selection of papers from CoastGIS 2006, University of Wollongong, Wollongong, N.S.W., pp. 1-13. 2006.

KINSLER L. E., FREY A. R., COPPENS A. B., and SANDERS J. V. **Fundamentals of Acoustics**. Wiley, 3 ed., 1982.

KLEIN, A.H.F. **Morphodynamics of headland bay beaches: Examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil**. Tese de Doutorado - Universidade do Algarve, Faro, 2004.

KOMAR, P. D. **Beach Process and Sedimentation**. Prentice Hall, New Jersey. 1976.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro. Laboratório de Geomatemática. Texto Didático 02, 20 pp. 2000.

LOPES, E.S.S. **Curso de Geoprocessamento – Formatos de Dados em um SIG, Representação Geográfica e Topologia. Módulos de um SIG. São José dos Campos**: Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnológicas CCENT, LabGeo. Universidade de Ribeirão Preto, p.52-68. 1996.

LUNDBLAD, E. R. **The Development and Application of Benthic Classifications for Coral Reef Ecosystems Below 30 m Depth using Multibeam Bathymetry: Tutuila, American Samoa.** 137. Master of Science. Geography, Oregon State University, Oregon. 2004.

LUNDBLAD, E.R., WRIGHT, J.D., MILLER, J., LARKIN, E.M., RINEHART, R., NAAR, D.F., DONAHUE, B.T., ANDERSON, S.M. & BATTISTA, T. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. **Marine Geodesy.** 2006.

MARTINS, L.R.; MELO, U.; FRANÇA, A.M.C.; SANTANA, C.I. & MARTINS, I.R. **Distribuição Faciológica da Margem Continental Sulriograndense.** Congresso Brasileiro de Geologia, 26^a. Anais 2: 115-132, Belém, Brasil. 1972.

MAHIQUES, M. M.; SOUZA, S. H. M.; FURTADO, V. V.; TESSLER, M.G.; TOLEDO, F. A. L.; BURONE, L.; FIGUEIRA, R. C. L.; KLEIN, D. A.; MARTINS, C. C. e ALVES, D.P.V. The Southern Brazilian Shelf: General Characteristics, Quaternary Evolution and Sediment Distribution. **Brazilian Journal of Oceanography.** Ed 58. 10 p. 2010.

MIGUENS, A. P. Navegação: A Ciência e a Arte. Vol. I: Navegação costeira, estimada e em águas restritas. Diretoria de Hidrografia e Navegação - Marinha do Brasil. 1994. MILONE, G. Estatística: geral e aplicada. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

MOSCON, D. M. C. & BASTOS, A. C. Occurrence of Storm-Generated Bedforms along the Inner Continental Shelf - Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58 (special issue PGGM), 2010.

MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil. **Elemento para uma Geografia do Litoral Brasileiro.** São Paulo. 237p. 2007.

MUEHE, D. & GARCEZ, D. S. A Plataforma Continental Brasileira e sua Relação com a Zona Costeira e a Pesca. **Revista de Geografia da UFC.** Rio de Janeiro. 21p. n8.2005.

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

MUSSI, C. **Mapeamento da Geodiversidade e Análise de Bens e Serviços Ecológicos Prestados pela Plataforma Continental de Santa Catarina, Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE. 421p. 1989.

NITTROUER, C.A. AND WRIGHT, L.D. Transport of Particles across Continental Shelves. **Reviews of Geophysics**, 32(1): 85-113. 1994.

NOAA Biogeography Program (NWHI). 2003. Benthic habitat mapping: Northwest Hawaiian Islands classification manual. <http://biogeo.nos.noaa.gov/projects/mapping/pacific/nwhi/classification>.

OLIVEIRA, U. R., BARLETTA, R. C., PEIXOTO, J. R. V. & HORN FILHO, N. O. Variabilidade morfológica da praia do Pântano do Sul, ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. Vol. 38(3): 566-576. Set de 2008.

OLIVEIRA, M. A. T. & HERRMANN, M. A. P. Ocupação do Solo e Riscos Ambientais na Área Conturbada de Florianópolis. In GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

PAPINI, C. J. **Estudo Comparativo de Métodos de Determinação do Tamanho de Partícula**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, IPEN. 130p. 2003.

PEREIRA, M. L.M. **Caracterização de Paisagens Marinhas de Unidades de Conservação no Brasil e sua Aplicabilidade na Gestão**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

PHILLIPS, E.L., STORLAZZI, C.D., DARTNELL, P. & EDWARDS, B.D. Exploring Rippled Scour Depressions Offshore Huntington Beach, CA. **Coastal Sediments**. 2007.

PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian Offshore Wave Climate Based on NWW3 Reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(1), p.53-70, 2010.

PUGH, D.T. **Tides, Surges and Mean Sea-Level**. Swindon, UK. John Wiley & Sons. 1996.

RISTOW, J.P. **Estudo e desenvolvimento de algoritmos de sonar ativo para o mapeamento de áreas submersas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. 2015.

ROSSI-WONGTSCHOWSK, C. M D. & MADUREIRA, L. S, P. **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SCHETTINI, C.A.F. Caracterização física do estuário do rio Itajaí-Açu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 7(1) 123-142p. 2002.

SHEPARD, F. P. Nomeclature based and sand-silty-clay rations. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v.24: 151-158p. 1954.

SOUZA, J.A.G. de; CORRÊA, I.C.S. Feições sedimentares presentes na plataforma continental interna da enseada do Pântano do Sul, ilha de Santa Catarina, SC – Resultados preliminares. In: **SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**, 1., 2006, Porto Alegre. Resumos... Porto Alegre: UFRGS. 129-132p. 2006.

SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos Métodos geofísicos na investigação de Áreas submersas rasas**. Tese do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2006.

SOUZA, J. A. G. **Caracterização Morfo sedimentar da Plataforma Continental Interna da Enseada do Pântano do Sul, Ilha**

De Santa Catarina, SC. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRGS. 100 p. 2007.

SOUZA, J. M. **Mar Territorial, Zona Econômica Exclusiva ou Plataforma Continental?** Revista Brasileira de geofísica. Vol. 17 (1). 1999.

SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher. 1973. 317p

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?).** São Paulo, Paulo's Editora, 366 p. 1999.

SUGUIO, K. & MARTIN, L. Quaternary marine formations of the states of São Paulo and southern Rio de Janeiro. **In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. São Paulo. Special Publication.** São Paulo, Brazilian National Working Group for the IGCP-Project 61, n.1, p. 1-55 p. 1978.

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

VAN RIJN, L.C. **Principles of coastal morphology.** Aqua Publications: Amsterdam, Holanda. 1998.

VAN RIJN, L. C. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. **Journal of Hydraulic Division.** ASCE, Vol. 133, No. 6, 649-667p. 2007.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.R. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, v. 8, p. 1-45, 1995-a.

VILLWOCK, J. A; TOMAZELLI, L.J; LOSS, E.L; DENHARDT, E.A; BACHI, B.A; GODOLPHIN, M.F & HORN FILHO, N.O. **Mapa geológico da província do Rio Grande do Sul – Escala 1:1.000.000.** Porto Alegre, CECO/IG/UFRGS & PETROBRAS. 1995-b.

VITAL, H; SILVEIRA, I.M & AMARO, V.E. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira – Área Guamaré a Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geofísica**, Vol. 23(3), 2005.

WRIGHT, L.D.; GUZA, R.T. & SHORT, A.D. Dynamics of a high energy dissipative surf zone. **Mar. Geol.**, 45 (12) 41-62p. 1982.

WRIGHT, L. D. Morphodynamics of inner continental shelves. **CRC Marine Science Series**. Flórida - EUA. 241 p. 1995.

ZEMBRUSCKI, S.G. **Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias adjacentes**. In: CHAVES, H.A.F. (eds.). Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas adjacentes (Relatório Final). (Série Projeto REMAC). Rio de Janeiro: PETROBRÁS. CENPES. DINTEP. V.7. p.129-177. 1979.

ZHAO, J., WANG, X., ZHANG, H. & WANG, A. A Comprehensive Bottom-Tracking Method for Sidescan Sonar Image Influenced by Complicated Measuring Environment. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**. 0364-9059. 2016.

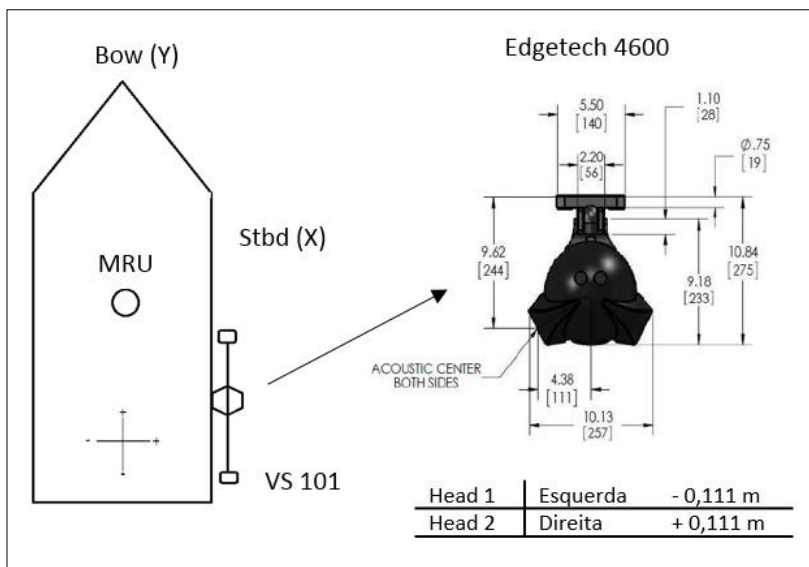
8 APÊNDICE

8.1 APÊNDICE A

Seguindo a Normam 25 – Esquema das medidas dos *off-sets*:

Levantamento Batimétrico Multifeixe Instalação e Calibração - Planilha de *Offsets*

| | |
|-----------------------|---|
| Projeto: | Pantano_2016 |
| Data: | 29/03/2016 |
| Local: | Pantano do Sul - Florianópolis |
| Equipamento: | Interferômetro |
| Tipo de levantamento: | () Batimetria () Sonografia (X) Interferometria |



| Equipamentos | | | | |
|---------------|-----------|------------|-----------|----------|
| Identificação | Descrição | X (Stbd +) | Y (Bow +) | Z (up -) |
| Edgetech 4600 | Head 1 | + 1,882 | - 0,441 | + 1,544 |
| Edgetech 4600 | Head 2 | + 2,104 | - 0,441 | + 1,544 |
| MRU | SMC – 108 | 0 | 0 | - 0,624 |
| GPS | Novatel | + 1,993 | - 1,186 | - 2,564 |

8.2 APÊNDICE B

Levantamento Batimétrico Multifeixe
Instalação e Calibração - Planilha de *Patch Test*

| | |
|-----------------------|--|
| Projeto: | Pantano_2016 |
| Data: | 30/03/2016 |
| Local: | Pantano do Sul - Florianópolis |
| Equipamento: | Interferômetro |
| Equipe Técnica: | Faynna, Franco, Maiara e Odair |
| <i>Patch Test</i> nº: | Nº 1 (Lage - 10 a 25 metros de profundidade) |

| Hora | Evento | Nome da Linha | Direção | Vel. | Observação |
|-------|--------|---------------|---------|------|-----------------------|
| 16:56 | 67/68 | 001A1656 | 142,59 | 4,5 | Latência, Pitch e Yaw |
| 17:12 | 73/74 | 001A1712 | 142,59 | 2,5 | Latência |
| 17:26 | 76/79 | 001_1726 | 322,59 | 4,5 | Pitch |
| 21:24 | 164 | 003_2124 | 334,54 | 4,5 | Roll 1 |
| 21:27 | 169 | 002A_2127 | 154,54 | 4,5 | Roll 1 – 2 |
| 21:41 | 182 | 004_2141 | 154,54 | 4,5 | Roll 2 |
| 17:37 | 97/98 | 002B1737 | 142,59 | 4,5 | Yaw 1 |
| 20:35 | 152 | 004_2035 | 142,59 | 4,5 | Yaw 2 |

| Resultado do <i>Patch Test</i> | | | | | |
|---------------------------------------|----------|--------------|--------------|-------|------|
| | Latência | Roll HD 1 | Roll HD 2 | Pitch | Yaw |
| Processamento | 0 | - 4,78 | - 6,40 | 4 | 2 |
| Reprocessamento | 0 | - 4,87 | - 6,30 | 4,14 | 1,75 |

8.3 APÊNDICE C

Modelo das planilhas preenchidas em campo no LH.

| | | |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Projeto: | Pantano_2016 | |
| Data: | 31/03/2016 | |
| Local: | Pantano do Sul - Florianópolis | |
| Equipe: | Faynna, Franco, Maiara | |
| Página: | 1 | |
| N. Discover: | 114202 | N. Discover: - |
| N. Hypack: | 082_1142 | N. Hypack: 083_1255 |
| Evento: | 185 | Evento: 213 |
| Azimute: | 191,24 | Azimute: 191,24 |
| Hora Inicial: | 11:42 | Hora Inicial: 12:55 |
| Hora Final: | 11:56 | Hora Final: 13:10 |
| Observações: | - | Observações: - |
| ↓ | | ↓ |
| N. Discover: | 115747/120656 | N. Discover: - |
| N. Hypack: | 084_1157 | N. Hypack: 086_1312 |
| Evento: | 192 | Evento: 220 |
| Azimute: | 11,24 | Azimute: 1124 |
| Hora Inicial: | 11:57 | Hora Inicial: 13:12 |
| Hora Final: | 12:11 | Hora Final: 13:29 |
| Observações: | - | Observações: - |
| ↓ | | ↓ |
| N. Discover: | 123839/124748 | N. Discover: 140711/141620 |
| N. Hypack: | 085_1238 | N. Hypack: 001_1407 |
| Evento: | 206 | Evento: 227 |
| Azimute: | 11,24 | Azimute: 191,24 |
| Hora Inicial: | 12:38 | Hora Inicial: 14:07 |
| Hora Final: | 12:93 | Hora Final: 14:23 |
| Observações: | - | Observações: - |
| ↙ | | → |

8.4 APÊNDICE D

Pontos onde foram realizados perfis de velocidade do som no LH.

| Data de Aquisição | Nome do Arquivo | Latitude (S) | Longitude (O) | Profundidade (metros) |
|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
| 30/03/2016 | 16:35:49 | 27 50 59.49 | 048 30 35.58 | 22.30 |
| | 18:46:23 | 27 50 40.20 | 048 30 46.20 | 22.71 |
| 31/03/2016 | 11:32:16 | 27 48 29.08 | 048 29 42.70 | 21.48 |
| | 12:34:18 | 27 50 1.13 | 048 30 19.54 | 13.73 |
| | 13:35:38 | 27 48 52.20 | 048 29 56.37 | 21.34 |
| | 15:59:21 | 27 48 50.09 | 048 30 16.48 | 21.51 |
| | 17:36:22 | 27 48 51.47 | 048 30 30.25 | 19.95 |
| 01/04/2016 | 10:01:33 | 27 48 36.21 | 048 30 29.25 | 20.17 |
| | 11:21:59 | 27 50 21.52 | 048 30 58.79 | 21.47 |
| | 12:32:03 | 27 48 41.25 | 048 30 47.16 | 18.72 |
| | 15:08:52 | 27 48 39.73 | 048 31 8.06 | 16.83 |
| | 16:46:49 | 27 49 54.84 | 048 31 31.04 | 10.02 |
| | 20:14:25 | 27 48 34.29 | 048 31 45.04 | 12.79 |
| | 21:31:08 | 27 49 37.30 | 048 32 11.28 | 12.96 |
| | 22:16:04 | 27 48 30.16 | 048 31 59.63 | 8.34 |
| 02/04/2016 | 10:16:27 | 27 48 30.16 | 048 31 49.49 | 11.66 |
| | 12:11:52 | 27 49 1.58 | 048 30 0.63 | 21.84 |
| | 13:02:28 | 27 50 0.74 | 048 32 26.46 | 15.83 |
| | 14:22:01 | 27 49 51.34 | 048 32 21.37 | 14.17 |
| 03/04/2016 | 13:26:31 | 27 49 16.19 | 048 32 3.48 | 12.62 |
| | 14:46:22 | 27 50 12.07 | 048 31 58.23 | 13.62 |
| 04/04/2016 | 18:00:41 | 27 50 10.51 | 048 31 58.46 | 13.06 |
| | 10:47:08 | 27 50 13.46 | 048 30 36 | 23.15 |
| | 12:00:08 | 27 51 15.30 | 048 30 29.09 | 22.93 |
| | 13:40:06 | 27 50 44.59 | 048 32 13.95 | 18.77 |