

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Hillary Wons Couto

Validação de um modelo conceitual de transporte de sedimentos através de dados de sonografia e batimetria na região da desembocadura da Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil

Florianópolis

2023

Hillary Wons Couto

Validação de um modelo conceitual de transporte de sedimentos através de dados de sonografia e batimetria na região da desembocadura da Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Oceanografia Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador(a): Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein.

Florianópolis

2023

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

Couto, Hillary Wons

Validação de um modelo conceitual de transporte de sedimentos através de dados de sonografia e batimetria na região da desembocadura da Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil. / Hillary Wons Couto ; orientador, Antonio Henrique da Fontoura Klein, 2023.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Formas de leito . 3. Batimetria . 4. Sonografia . 5. Transporte de sedimento. I. Klein, Antonio Henrique da Fontoura . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

Hillary Wons Couto

Validação de um modelo conceitual de transporte de sedimentos através de dados de sonografia e batimetria na região da desembocadura da Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso Oceanografia.

Florianópolis, 01 de novembro de 2023.



Regina Rodrigues
RodriguesCoordenação
do Curso

Banca examinadora



Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.
Orientador



Prof. Jarbas Bonetti Filho, Dr.
Instituição UFSC



Mario Luiz Mascagni
Instituição UFRGS

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a mim mesma por ter conseguido chegar até o momento com amadurecimento pessoal e profissional. Por todos esses anos de luta trabalhando quase todos os finais de semana para poder me manter.

Agradeço toda rede de apoio familiar, minha mãe Odila, meu pai Edemilson, minha irmã Laura, minha vó Helena, minhas amigas Thaise, Daniela e Éllen. Ao meu companheiro Adrean que me incentivou várias vezes a não desistir da oceanografia e ao seus pais Márcia e Laerte, minha segunda família.

Aos meus amigos que criei vínculos incríveis nessa cidade, Luana, Leticia, Juliana, Diênifer, Khauany, Babi, Lucas e Andrew.

Aos amigos de laboratório e trabalho que me auxiliaram no processo de construção do tcc e na minha carreira profissional, Bianca, Wilson, Mariane e toda comunidade do Laboratório de Oceanografia Costeira.

Obrigada a todos amigos de Porto Alegre, Florianópolis e Brasil que não mencionei acima, que de alguma forma me ajudaram, seja na escuta, no aprendizado e companheirismo.

Ao meu orientador Antonio Klein, por disponibilizar a estrutura, mentoria e compressão nos meus estudos acadêmicos e também a instituição EPAGRI, em especial ao Garbosa pela disponibilização de dados para os meus estudos.

Por fim, a própria UFSC pelas ações afirmativas que me auxiliou muito na permanência dos estudos, por sua estrutura, como biblioteca, alimentação e saúde.

RESUMO

O presente trabalho apresenta a análise de validação de um modelo conceitual de transporte de sedimento através de dados de batimetria e sonografia, identificando as formas de leito e sua respectiva direção de migração na região da desembocadura da baía da Babitonga ao Norte do estado de Santa Catarina, Brasil. Para isto, foi realizado o processamento de dados secundários de batimetria monofeixe e multifeixe e dados sonográficos, coletados em 2019 e 2022. O processamento e análise dos dados batimétricos foram feitas no *software* HYPACK2017, e de sonografia no SonarWiz7 ® e os mapas de interpolação e mosaicos no *software* ArcGis®. Como resultado identificou-se profundidades que variaram de 1 e 26 metros. As formas de leito na entrada do canal variaram de megaondulações simétricas, assimétricas e compostas relacionadas com o predomínio de correntes de vazante e ondulações. Marcas onduladas sinuosas e lunares foram identificadas também, associadas diretamente com o movimento orbital da onda e a diminuição da profundidade. As direções das feições migraram ao longo da costa leste, de sul para norte. Ao chegar na desembocadura da baía, parte se direciona sentido norte e outra entra para dentro do canal, ou sentido baixio de vazante. O transporte de sedimento que ocorre para o banco de vazante é direcionado para a praia de Itapoá, onde ocorre uma inversão no sentido, parte direciona-se para o canal e outra ao norte, porém algumas alterações no sentido do transporte foram identificadas, mas não deixou-se de validar o modelo conceitual de transporte de sedimento.

Palavras-chave: Sonar de Varredura Lateral; Batimetria; Formas de leito; Transporte de sedimento.

ABSTRACT

The present work presents the validation analysis of a conceptual sediment transport model using bathymetry and sonography data, identifying the bed forms and their respective migration direction in the region of the mouth of Babitonga Bay in the North of the state of Santa Catarina, Brazil. For this, the processing of secondary data from single-beam and multi-beam bathymetry and sonographic data, collected in 2019 and 2022, was carried out. The processing and analysis of bathymetric data was carried out in the HYPACK2017 software, and sonography in SonarWiz7 ® and the interpolation maps and mosaics in ArcGis® software. As a result, depths ranging from 1 to 26 meters were identified. Bedforms at the channel entrance varied from symmetrical, asymmetrical and compound megaripples related to the predominance of ebb currents and ripples. Sinuous and lunar wave marks were also identified, directly associated with the wave's orbital movement and decreasing depth. The directions of the features migrated along the east coast, from south to north. Upon arriving at the mouth of the bay, part heads towards the north and the other goes into the channel, or towards the low tide. The sediment transport that occurs towards the ebb bank is directed towards Itapoá beach, where a reversal in direction occurs, part heading towards the channel and the other towards the north, however some changes in the direction of transport were identified, but not the conceptual model of sediment transport was no longer validated.

Keywords: Side Scan Sonar; Bathymetry; Bed forms; Sediment transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceitual da dinâmica sedimentar na região da desembocadura da baía da Babitonga. O tamanho e a largura da seta não representam a magnitude do transporte de sedimentos, apenas a direção.	15
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.	17
Figura 3. Aquisição de dados das campanhas de 2019 e 2022	20
Figura 4. À direita interferômetro Edgetech 4600 e a esquerda equipamento instalado na embarcação.	23
Figura 5. Instalação física do SSS: A – montagem do pole; B – Instalação do pole; C- SSS preso por cabo.....	24
Figura 6. - (A) Antena do GPS; (B) Receptor do GPS; (C) Side Scan; (D) guincho do Side Scan; (E) compensador de movimento MRU; (F) suporte das ecossondas; (G) transdutor da ecossonda MK III; (H) transdutor da ecossonda DtX.	25
Figura 7. Fluxograma das etapas de análise e processamento dos dados.	26
Figura 8. Perfis batimétricos demonstrando os dados espúrios (spikes).	28
Figura 9. Mensuração da altura da feição extraído de um perfil batimétrico multifeixe.	28
Figura 10. Imagem com coluna d'água (A), Imagem sem coluna d'água (B) e perfil com ganho e filtro (C).	30
Figura 11. Classificação dos tipos de formas de leito.	32
Figura 12. Mapa batimétrico obtido a partir do levantamento Monofeixe em metros, interpolado pelo método Empirical Bayesian Kriging.	35
Figura 13. Mapa batimétrico obtido a partir do levantamento Multifeixe em metros, interpolado pelo método Empirical Bayesian Kriging.	37
Figura 14. Detalhamento da interpolação batimétrica com o perfil batimétrico extraído do HYACK2017.	39
Figura 15. Mapa sonográfico obtido a partir do levantamento de sonografia.	41
Figura 16. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.....	43
Figura 17. Registro de fundo arenoso com megaondulações - assimétrica - composta em A e B, Simétrica em C e megaondulações simétricas em D.	45
Figura 18. Feições compostas. Linha em preto comprimento da feição (megaondulação) e linha em vermelho comprimento da forma de leito sobre a feição.	46
Figura 19. Direção das formas de leito em A e B no ponto da praia do Forte. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de	

acordo com os gráficos a direita.	ABSTRACT	47
Figura 20. Direção das formas de leito em A e B no ponto Morro João Dias. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.		48
Figura 21. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.....		49
Figura 22. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.....		51
Figura 23. Registro de fundo arenoso com megaondulações - simétrica em A, megaondulação simétrica e assimétrica em B e megaondulação simétrica em C.		53
Figura 24. Perfil batimétrico e imagem sonográfica identificando a altura e formas de leito da feição.....		55
Figura 25. Direção das formas de leito em A e B no ponto Itapoá. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos à direita.		56
Figura 26. Direção das formas de leito em A e B no ponto da praia do Forte. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.		57
Figura 27. Direção das formas de leito em A e B no ponto Morro João Dias. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.		58
Figura 28. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos no ponto Itapoá.....		62
Figura 29. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos no ponto Praia do Forte.....		64
Figura 30. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos do ponto Morro João Dias.		66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação das formas de leito de acordo com Ashley (1990).	33
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	ÁREA DE ESTUDO.....	16
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1	AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	18
3.1.1	Investigação de Superfície de Fundo.....	21
3.1.1.1	<i>Batimetria Monofeixe e Multifeixe.....</i>	<i>21</i>
3.1.1.2	<i>Sonografia.....</i>	<i>24</i>
3.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	25
3.2.1	Batimetria monofeixe e multifeixe.....	27
3.2.2	Sonografia.....	29
4	RESULTADOS.....	34
4.1	BATIMETRIA.....	34
4.1.1	Levantamento batimétrico 2019.....	34
4.1.2	Levantamento batimétrico 2022.....	36
4.2	SONOGRAFIA.....	40
4.2.1	Levantamento Sonográfico 2019.....	40
4.2.1.1	<i>Formas de leito.....</i>	<i>42</i>
4.2.1.2	<i>Direção de migração.....</i>	<i>46</i>
4.2.2	Levantamento sonográfico 2022.....	48
4.2.2.1	<i>Formas de leito.....</i>	<i>50</i>

4.2.2.2	<i>Direção de migração</i>	56
5	DISCUSSÃO	59
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A	71

1 INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes de transição entre a interface continente e oceano. Através dessa conexão o ecossistema estuarino recebe materiais provenientes da drenagem continental, vindo do fluxo de rios que desembocam no ambiente, sendo protagonista na filtragem de materiais particulados e dissolvidos para distribuição no meio marinho (SIEGLE *et al.*, 2009; D'AQUINO, 2011) A Baía da Babitonga é um dos maiores estuários do Brasil, além de ter grande importância ecológica por possuir a maior área de manguezal de Santa Catarina (VIEIRA *et al.*, 2008) E também, pela sua alta credibilidade econômica, com atividades portuárias no seu entorno, conhecidas como Porto de São Francisco do Sul e do Porto de Itapoá (CABRAL, 2011).

A dinâmica em estuários varia de acordo com os processos costeiros dominantes na região, sejam eles continentais, como descarga fluvial, ou marinhas como ação de ondas, correntes e marés, o qual são responsáveis pela remobilização e formação das formas de leito, variando de acordo com a profundidade e tamanho de grão (MIRANDA *et al.*, 2002). As feições podem variar de tipos e tamanhos, podendo ocorrer em diversos ambientes, como plataformas continentais e estuários (CACCHIONE *et al.*, 1984). É característico de áreas costeiras formas de leito decorrente da interação do fluxo e da batimetria, podendo variar suas dimensões e intensidade do fluxo que remobiliza o sedimento (WRIGHT, 1995 ; PORPILHO, 2015).

Por se tratar de um ambiente onde não se tem contato direto com o objeto de estudo, investiga-se indiretamente através de métodos geoacústicos, como a sonografia e a batimetria (HARRIS & BAKER, 2011). São utilizados equipamentos como os Sonares Diferenciadores de Fases ou interferômetro que aquisitam dados simultaneamente de morfologia e sonografia (RAINEAULT *et al.*, 2013). Além deste, existem outros dispositivos individuais para coleta de dados sonográficos e batimétricos, como o Sonar de Varredura Lateral e a Ecossonda Monofeixe (HARRIS & BAKER, 2011).

A proposta deste trabalho é avaliar o modelo conceitual sedimentar (Figura 1) proposto por Silveira *et al.*, (2012), o qual foi desenvolvido através de modelagem

numérica com o uso do modelo morfodinâmico baseado em parâmetros hidrodinâmicos em um pacote de modelagem, o Delft3D. O modelo foi utilizado para avaliar a dinâmica sedimentar da área em condições naturais, em um cenário pré-dragagem. Os sedimentos são transportados ao longo da costa leste da ilha de São Francisco do Sul contornam os promontórios das praias do norte até chegar a desembocadura, parte entra para dentro da baía ou mar até o banco de vazante, onde é transportado para a praia, ocorrendo uma inversão na direção, parte é transportada de volta para o canal e outra para as praias do norte (Figura 1) (SILVEIRA *et al.*, 2012).

Modelos semelhantes vêm sendo aplicados e são eficazes para a predição de transporte sedimentares e mudanças morfológicas ao longo de um intervalo de tempo com base numa avaliação de curto prazo em diferentes regiões do globo (MCLAREN & BOWLES, 1985 ; SALLES & DUCLAUX, 2015 ; YAO *et al.*, 2018 ; BECKERS; *et al.*, 2018). No Brasil, em Santa Catarina pode-se citar estudos como de (COSTA *et al.*, (2019) e VIEIRA DA SILVA *et al.*, (2016).

Figura 1. Modelo conceitual da dinâmica sedimentar na região da desembocadura da baía da Babitonga. O tamanho e a largura da seta não representam a magnitude do transporte de sedimentos, apenas a direção.



Fonte: Silveira *et al.* (2012).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Validar o modelo conceitual de transporte de sedimentos proposto por Silveira *et al.* (2012), através de dados de sonografia e batimetria na região da desembocadura da Baía da Babitonga – Santa Catarina – Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Classificar as formas de leito junto à desembocadura da Baía da Babitonga;
2. Determinar a direção de transporte de sedimentos junto à desembocadura da Baía da Babitonga.

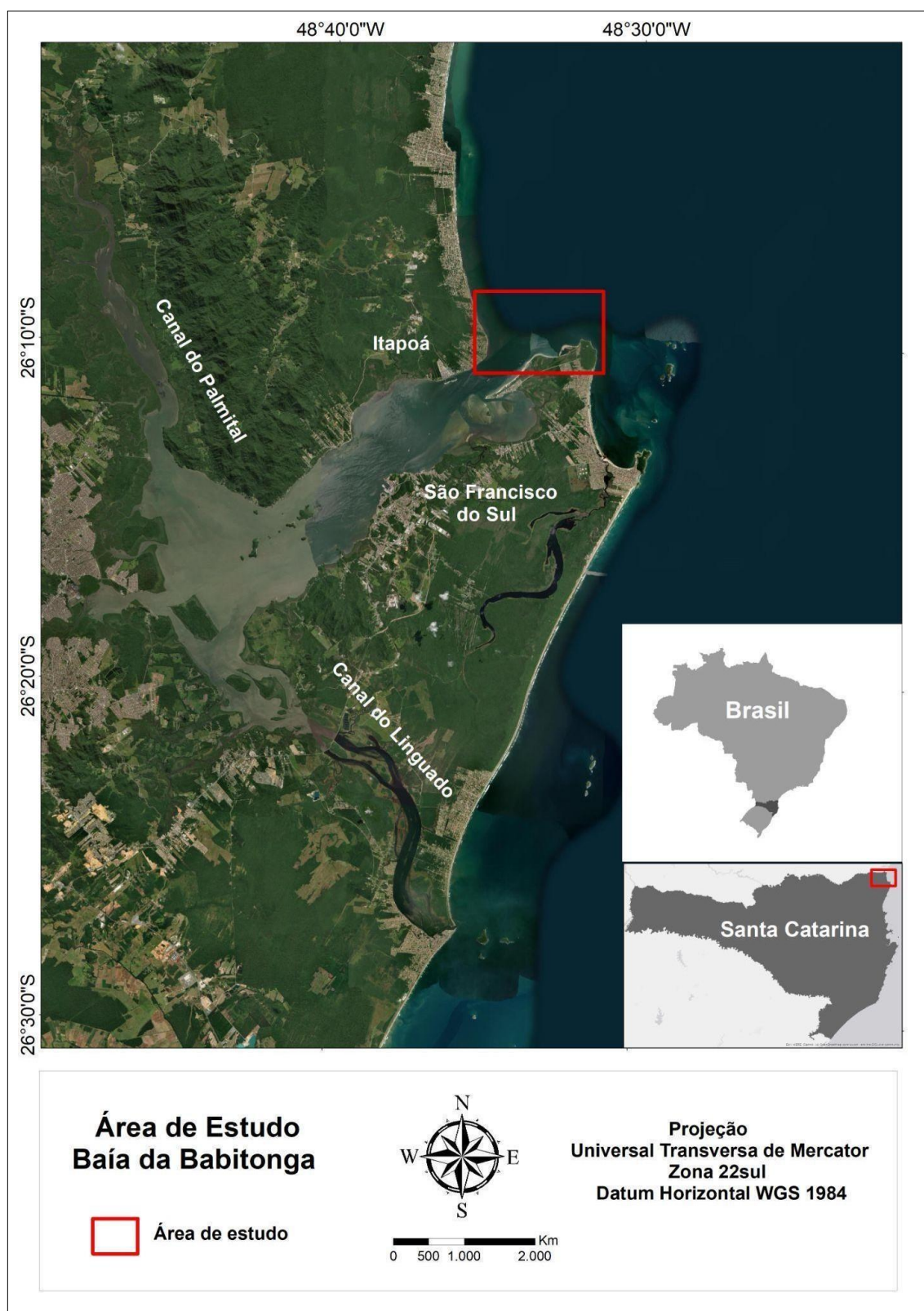
2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O complexo estuarino da Baía da Babitonga (*Figura 2*) localiza-se na região nordeste do estado de Santa Catarina, com latitudes de 26° 07' e 26° 27' sul, tendo a maior área de preservação de manguezal do estado (VIEIRA *et al.*, 2008).

A bacia de drenagem Babitonga tem 46 km de extensão, a mesma comunica-se com o Oceano Atlântico com 1500 metros de largura e profundidade média de 15 metros (VIEIRA, *et al.*, 2008). A Baía possui um canal principal com direção NE/SW, com aproximadamente 3,8 km de largura e profundidades de até 28 metros, eixos alongados no sentido SE/NW, mais estreitos, com largura máxima de 1,5 km e profundidade média de 4 metros. Já no eixo norte, chamado de Canal do Palmital é um canal que exporta os sedimentos para dentro da baía, através das bacias hidrográficas da escarpa da Serra do Mar (OLIVEIRA, 2007).

Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2022).

O estuário divide-se em três grandes setores: o Canal do Linguado, localizado na porção sul; O Rio Palmital, no setor norte; e a parte principal da baía localizada no centro (ENGEL *et al.*, 2017 ; OLIVEIRA, 2007). O canal do Linguado tem como principal característica a alta concentração de sedimentação no seu interior, com predominância de sedimentos finos (SCHETTINI & CARVALHO, 1999).

O clima na região é caracterizado pelo tipo úmido a superúmido; e mesotérmico (KOEHNTOPP *et al.*, 2021). A baía sofre influência direta da Serra do Mar, por conta do relevo predominante atuando como uma barreira natural e conseqüentemente concentrando umidade trazida do oceano pelos ventos (KOEHNTOPP *et al.*, 2021). A temperatura média da região gira em torno da faixa dos 20°C, com predominância de ventos das direções leste e nordeste, com velocidade medida de 6,3 km/h (KOEHNTOPP, 2012).

A Baía da Babitonga caracteriza-se por ser uma região de regime de micromarés, com amplitudes menor que 2 m, do tipo misto, tendo sua amplitude máxima de 1,28 m durante o período de maré de sizígia e amplitude média de 0,70m na desembocadura (TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999). As marés controlam as correntes ao longo do canal principal, que mudam de direção e fluem lateralmente à medida que entram e saem no estuário. As alterações na hidrografia e correntes são impulsionadas pelo ciclo de marés, durante as marés de sizígia e quadratura, sem variações sazonais (NOERNBERG *et al.*, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

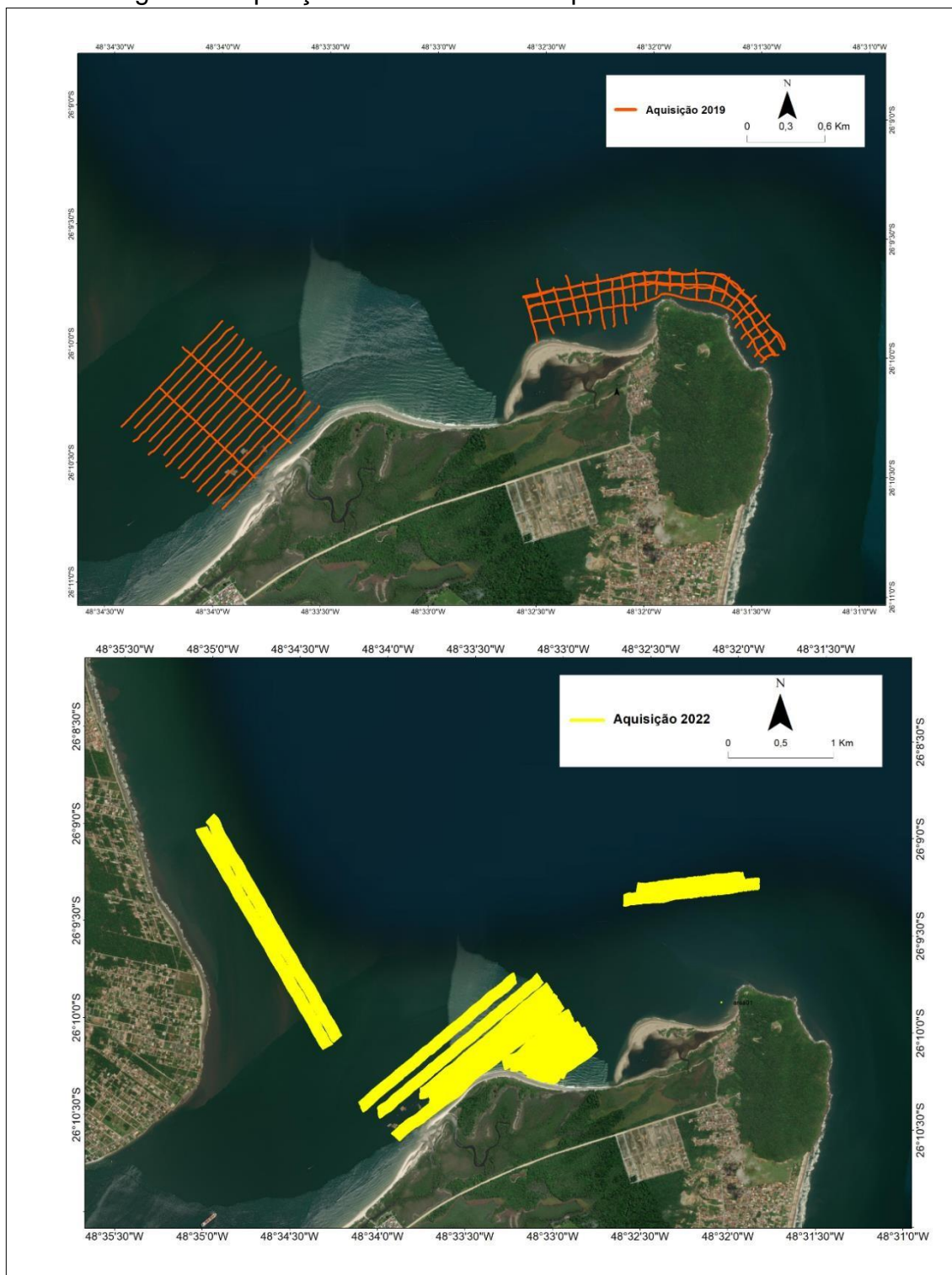
3.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Foram aqüisitados e processados dados secundários obtidos em campanhas oceanográficas distintas. Em 2019 pelo projeto "Bay Squeeze — Baía da Babitonga" e em 2022 pelo projeto "Risk Ports"(Figura 3). O Primeiro levantamento ocorreu entre os dias 02 e 06 de setembro de 2019, com aproximadamente 62 km de linhas aqüisitadas. As atividades compreenderam a obtenção de dados de batimetria com uma EcoSSonda Classificadora de Fundo e filmagens com Drone para inversão batimétrica junto de um levantamento batimétrico com Ecobatímetro Monofeixe para validação,e aqüisição de dados de sonografia com o Sonar Side Scan (Figura 6). O segundo levantamento ocorreu entre os dias 16 e 22 de fevereiro de 2022 com

aproximadamente 100 km de linhas aquisitadas. As atividades compreenderam a obtenção de dados de batimetria e sonografia simultaneamente através do sistema de interferometria (

).

Figura 3. Aquisição de dados das campanhas de 2019 e 2022



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

3.1.1 Investigação de Superfície de Fundo

3.1.1.1 Batimetria Monofeixe e Multifeixe

Para investigação em superfície de fundo, a batimetria consiste em um método acústico no qual é determinado a espessura da coluna d'água, de acordo com a propagação da velocidade do som na água, e o tempo de retorno do sinal que esta sendo refletido. Com a obtenção desses dados, é possível estimar a profundidade do local e assim, unir esses pontos por meio do método de interpolação, gerando como resultado a batimetria da região (SOUZA, 2006). Este método consiste em duas formas de aquisição, a batimetria monofeixe e multifeixe. Ambos com a mesma finalidade, porém uma consiste em um único feixe e a outra em múltiplos feixes.

O levantamento batimétrico ocorrido em 2019, foi adquirido pelo método de batimetria monofeixe, através do equipamento ecossonda monofeixe de dupla frequência *Teledyne Odom Hydrographic Echotrac MK III* (Figura 6- G), dispositivo responsável pela emissão, e a recepção dos pulsos sonoros pelo transdutor. A profundidade do local de um ponto específico é obtida a partir da emissão de um pulso e a medição da velocidade com que este pulso retorna ao ecobatímetro (MATOS, 2012). Já para o campo de 2022, foi feita a coleta dos dados de batimetria multifeixe, o que difere é a emissão de pulsos sonoros, através do equipamento aquisitor. O mesmo emite um amplo feixe de sinais acústicos para ambos os lados da embarcação e os dados são adquiridos pelo sistema de varredura de forma contínua, possibilitando amostrar em 100% a área de estudo (SOUZA, 2006).

O segundo levantamento ocorrido em 2022, foi adquirido através do sistema de interferometria, o qual a coleta dados de batimetria multifeixe e sonografia simultaneamente, pelo mesmo equipamento, chamado de diferenciadores de fases ou interferômetros, que consiste em sistemas de sonar de varredura lateral com múltiplos transdutores de cada lado (BLONDEL, 2009). São emitidos sinais eletroacústicos que determinam o ângulo de resposta do leito, através da diferença de fase, proporcionada pela distância entre os receptores, podendo variar de $\frac{1}{4}$ a 1 comprimento de onda, onde a informação em distância resultará na profundidade (MANUAL EDGETECH 4600, 2012).

O sistema EDGETECH 4600 (Figura 4 e Figura 5) 540 kHz de frequência, foi o modelo utilizado neste campo, o qual apresenta oito transdutores em cada lado, sendo o central responsável pela transmissão do sinal (transmissor), e os demais responsáveis pela recepção (receptores), onde cada transdutor calcula a diferença de fase do sinal que retorna (MANUAL EDGETECH 4600, 2012). Resultando assim, em imagens de sonar de varredura lateral, com informações em duas dimensões, permitindo a identificação de diferentes tipos de formações, como marcas onduladas, tipo de sedimento, afloramento rochoso e naufrágios. Já para batimetria, resulta-se em informações de profundidade, declividade e morfologia em até três dimensões.

Neste levantamento foi utilizado os seguintes equipamentos:

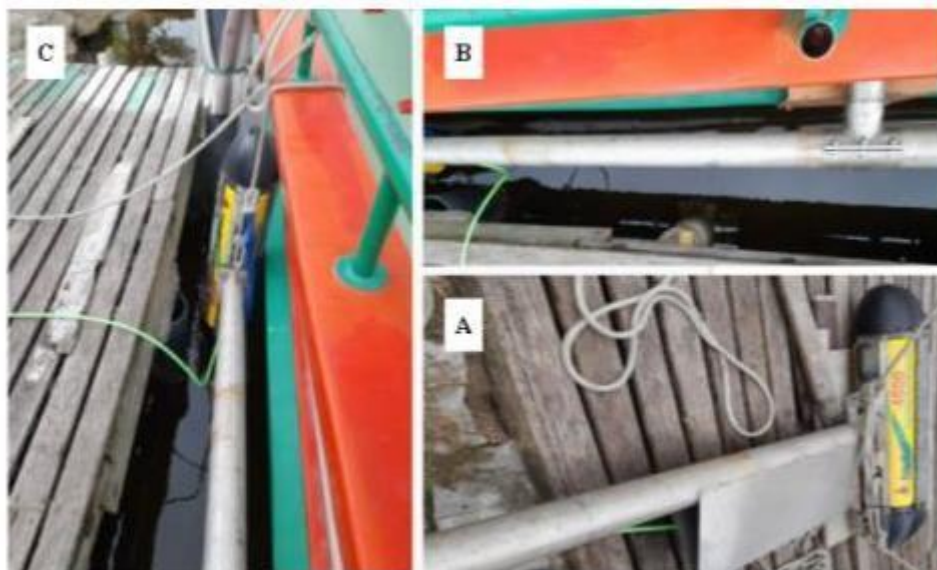
- Sistema Edgetech 4600;
- Compensador de movimento MRU SMC-Ship Motion Control;
- Trimble Dual R6 Model 4 GPS GNSS RTK
- GPS Trimble SBG
- Rádio externo TDL450h
- Teledyne Odom Digibar S (Sound Velocity Probe)
- Disco de secchi
- Estação de trabalho com monitor Asus, monitor HP e notebook Panasonic;
- Embarcação Marinheiro William com 0,80 m de calado.

Figura 4. À direita interferômetro Edgetech 4600 e a esquerda equipamento instalado na embarcação.



Fonte: Acervo de fotos do Laboratório de Oceanografia Costeira (2023).

Figura 5. Instalação física do SSS: A – montagem do pole; B – Instalação do pole; C- SSS preso por cabo.



Fonte: Acervo de fotos do projeto *Risk Ports* (2023).

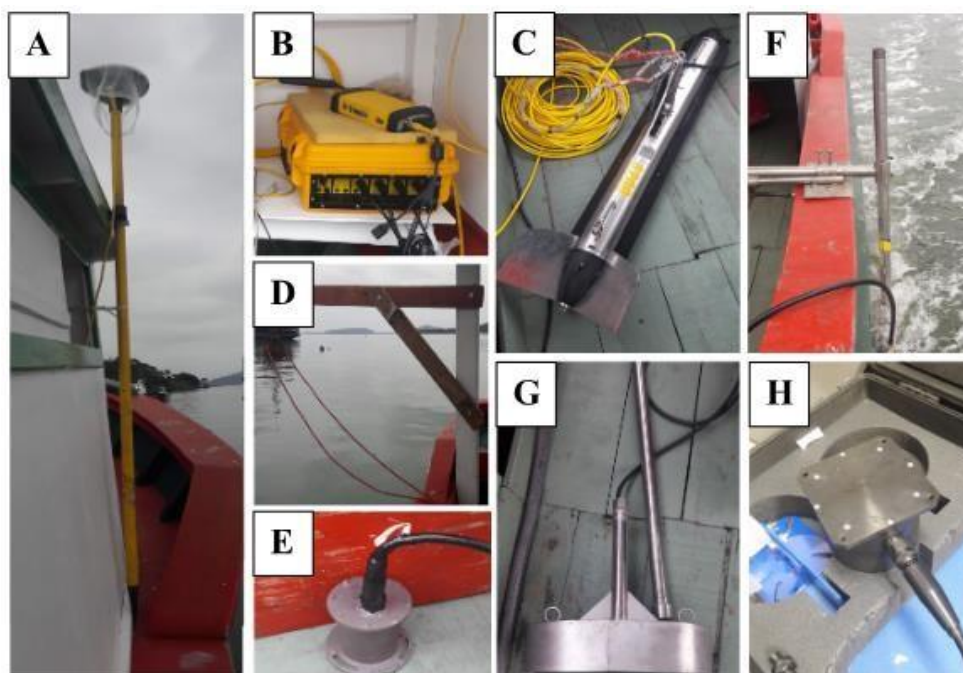
3.1.1.2 Sonografia

A aquisição sonográfica para o campo de 2019 foi feita através do Sonar de Varredura Lateral (Figura 6- C), equipamento que permite investigar a superfície do leito marinho, como afloramentos rochosos, marcas onduladas e suas características de formação, seja forma, tamanho e orientação (AYRES, 2000). A sonografia consiste em um método sísmico de reflexão, no qual a fonte sísmica propaga uma onda acústica pela coluna d'água, que atinge o fundo marinho, o sinal emitido retorna a superfície, possibilitando o imageamento do leito (SOUZA, 2006).

Neste levantamento foi utilizado os seguintes equipamentos:

- Sonar Side Scan EdgeTech 4200;
- Ecossonda monofeixe de dupla frequência Teledyne Odom HydrographicEchotrac MK III;
- Compensador de movimento MRU SMC-Ship Motion Control;
- GPS DGPS Trimble SPS461, com correção diferencial OmniSTAR;
- Estação de trabalho com monitor HP e notebook Sony Waio;
- Embarcação Marinheiro William com 0,80 m de calado.

Figura 6. - (A) Antena do GPS; (B) Receptor do GPS; (C) Side Scan; (D) guincho do Side Scan; (E) compensador de movimento MRU; (F) suporte das ecossondas; (G) transdutor da ecossonda MK III; (H) transdutor da ecossonda DtX.

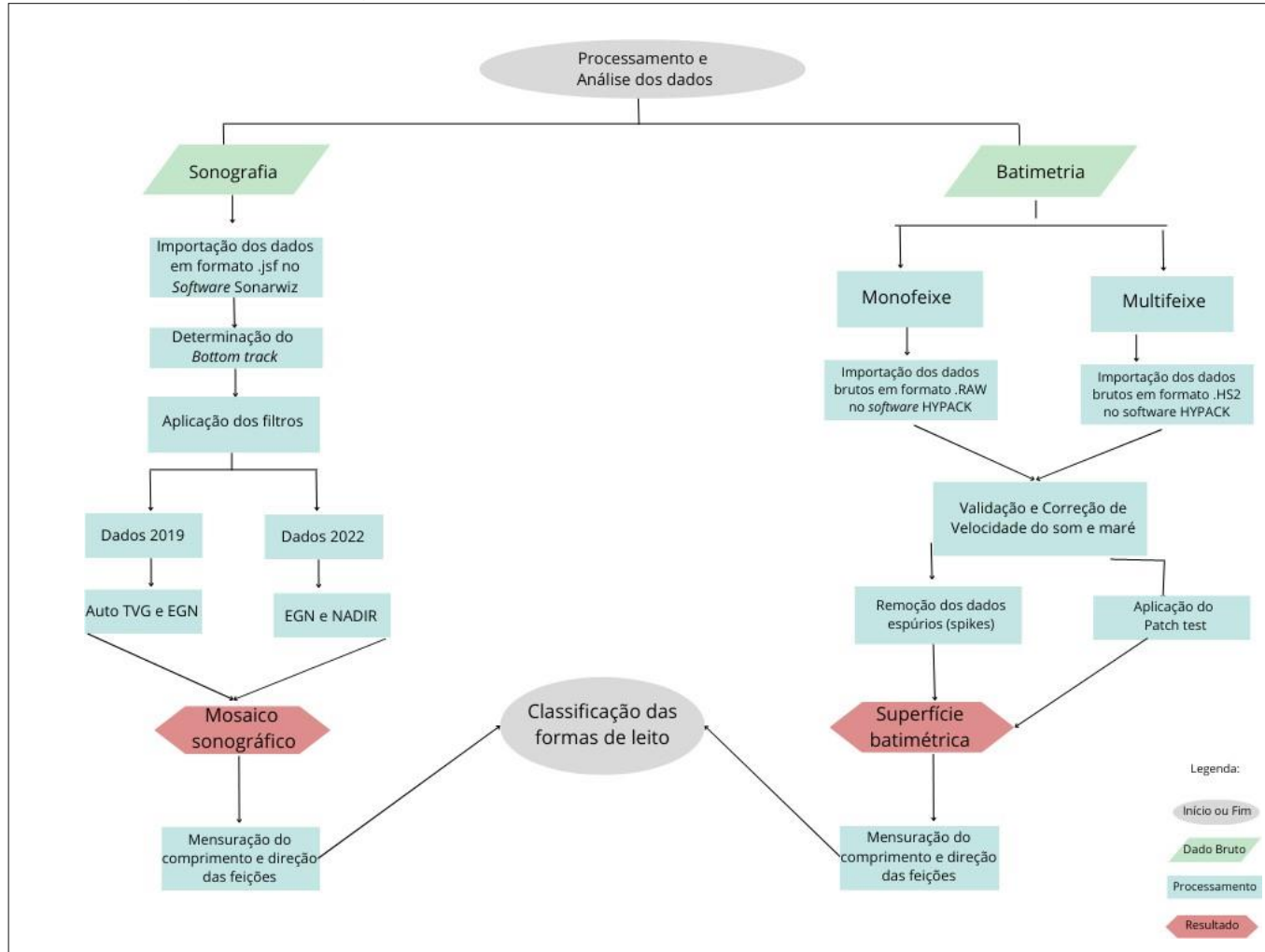


Fonte: Acervo de fotos do projeto *Bay Squeeze* (2023).

3.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A metodologia aplicada para o processamento dos dados, teve como base o tratamento através de *softwares* específicos de cada aquisição e posteriormente a interpretação e análise para validação dos resultados. Na Figura 7 é apresentado o fluxograma das etapas de desenvolvimento de cada processo.

Figura 7. Fluxograma das etapas de análise e processamento dos dados.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1 Batimetria monofeixe e multifeixe

O processamento batimétrico para ambos foi baseado nas metodologias segundo Hypack(2017) e Porpilho (2015). O tratamento dos dados foi realizado no *software* HYPACK2017, seguindo as seguintes etapas:

1º Etapa

Antes da importação dos dados brutos, foi necessário corrigir os parâmetros que são carregados junto ao dado, como a maré e velocidade do som.

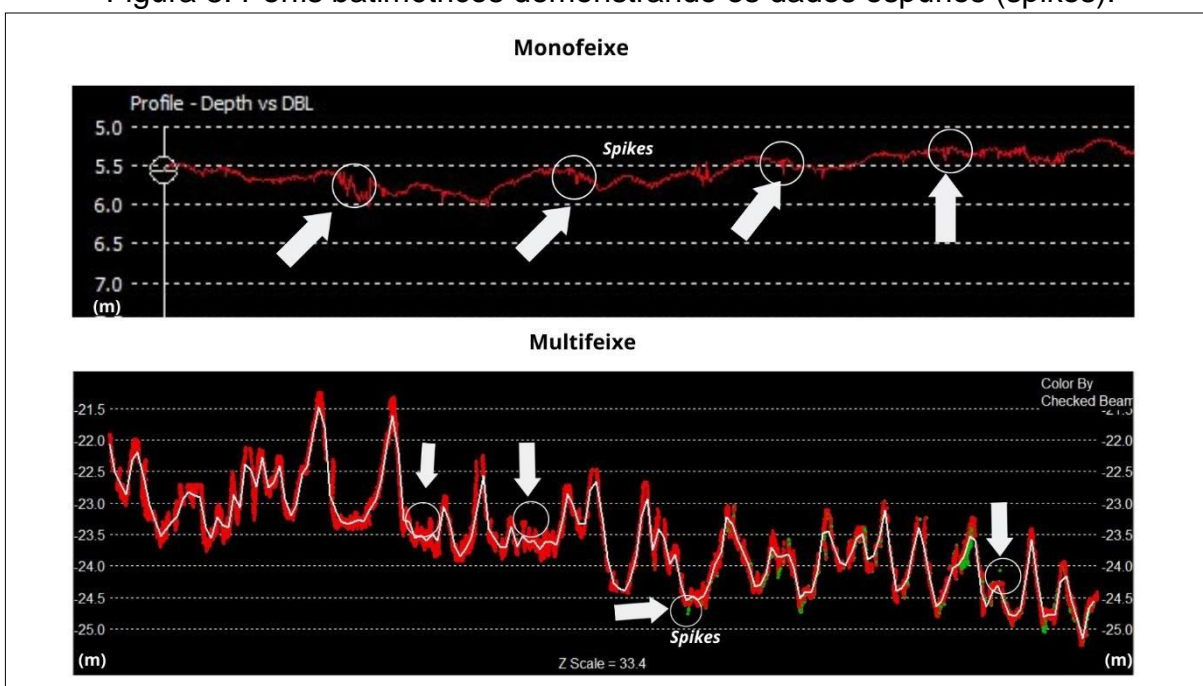
Os dados de maré foram disponibilizados pela instituição EPAGRI, o qual estava em um formato diferente do usual para tratamento de dados batimétricos, para tal foram feitas algumas alterações, como separar data, hora, dados de maré da região portuária de interesse e ajustes de conversão para metros.

Após os ajustes, os parâmetros corrigidos foram importados para o HYPACK, através das ferramentas *Single Beam Editor* para os dados monofeixe e *64-BIT HYSWEEP® EDITOR* para multifeixe, onde foram feitas as devidas correções verticais da batimetria juntamente com as linhas sondadas, para assim, aumentar a precisão da variação de maré e velocidade do som na água associada ao dado.

2º Etapa

Nesta etapa retirou-se os dados espúrios (*spikes*) (Figura 8), ruídos provenientes da aquisição do dado e que não pertencem ao leito marinho. Os mesmos podem ter diversas origens, podendo ser gerados pela própria ou por outras embarcações e também pela falha no equipamento aquisitor. Ressalta-se que, neste caso, houve certos contratemplos com o equipamento interferômetro, o qual apresentou dados com muitos ruídos, e conseqüentemente na geração dos resultados interpolados.

Figura 8. Perfis batimétricos demonstrando os dados espúrios (spikes).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após a limpeza dos dados, foi mensurado a altura das feições para posterior comparação com a sonografia, sendo extraído um perfil da feição. Na Figura 9, apresenta-se um exemplo de como foram feitas as medidas de altura, sendo A o ponto inicial e B o final.

Figura 9. Mensuração da altura da feição extraído de um perfil batimétrico multifeixe.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3º Etapa

Por fim as linhas foram exportadas em arquivo XYZ, sendo latitude(X), longitude (Y) e cota (Z). Os dados foram importados e tratados para interpolação através do *software* ARCGIS, pelo sistema de coordenadas UTM22S Datum Horizontal WGS84 e Vertical DHN RN-4, o qual foi utilizado o método *Kriging Bayesiano Empírico* (EBK).

O método EBK vem sendo utilizado para interpolação de dados batimétricos, baseia-se em cálculos de semivariogramas múltiplos, para melhor ajuste do modelo em regiões desconhecidas (KRIVORUCHKO, 2012). Após esse procedimento foi gerado mapas com as cotas batimétricas.

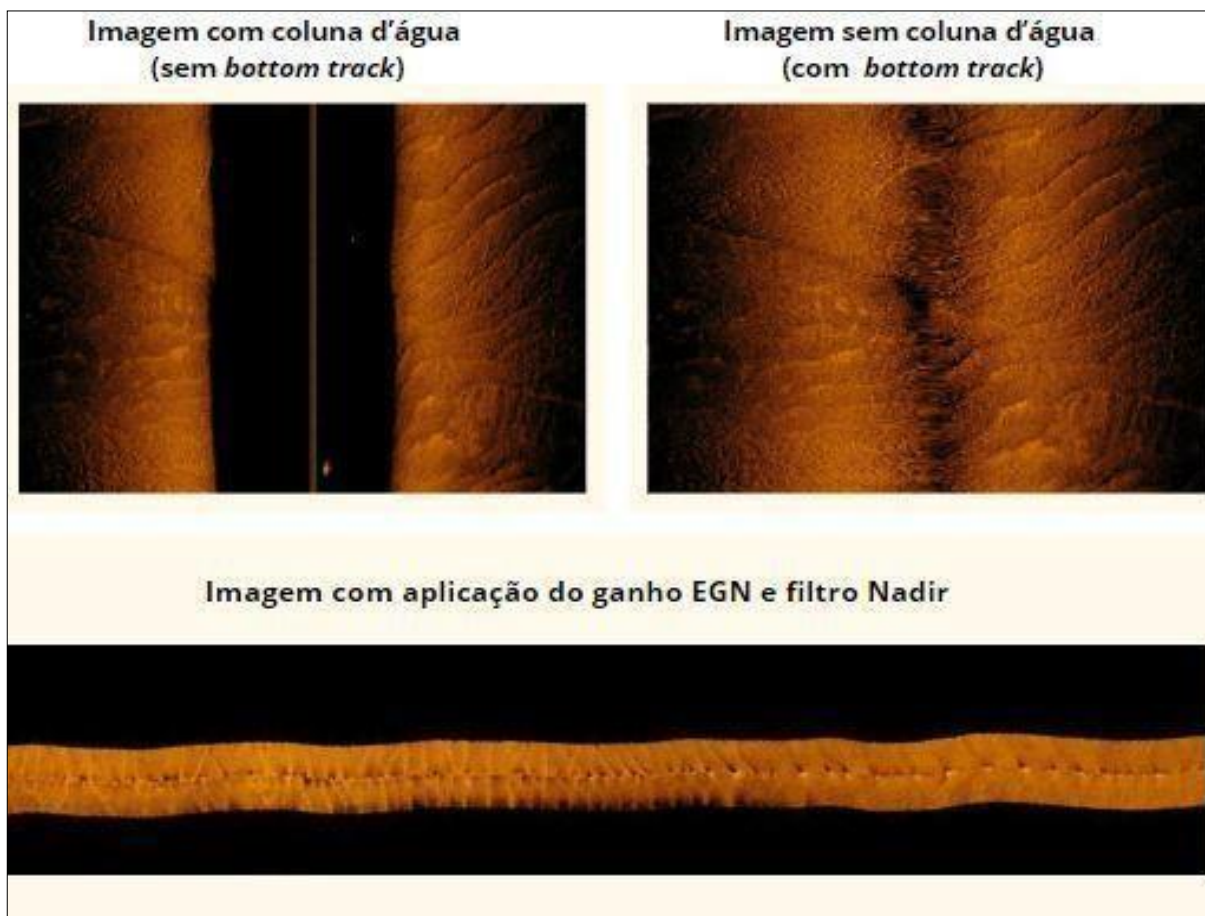
Como dito anteriormente, ao finalizar o processamento e analisar os resultados batimétricos multifeixe, aquisitados em 2022, verificou-se que em alguns pontos haviam informações referente as linhas que não faziam sentido ao dado, como linhas com falhas na visualização e interpretação. Tal situação ocorreu por possíveis erros na aquisição, quanto de processamento, como falta de informações do *patch test* e também problemas no equipamento de aquisição.

3.2.2 Sonografia

O processamento sonográfico foi realizado através do *software* SonarWiz®7, desde o tratamento até análise das feições geomorfológicas. A primeira etapa foi criar um projeto para cada área de estudo, selecionar o sistema de coordenadas e importar os dados em formato .JSF.

Na segunda etapa realizou-se a extração da coluna d'água (*bottom track*) (Figura 10), procedimento que visa retirar a faixa não mapeada do centro, delimitando as laterais onde contém as informações sonográficas de fundo. Em seguida, aplicou-se os filtros, *Automatic Time-Varyng Gain* (AUTO TVG), *Empirical Gain Normalization* (EGN) E NADIR, dependendo da resolução de cada arquivo, para assim homogeneizar a imagem, sem que anule qualquer resultado.

Figura 10. Imagem com coluna d'água (A), Imagem sem coluna d'água (B) e perfil com ganho e filtro (C).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

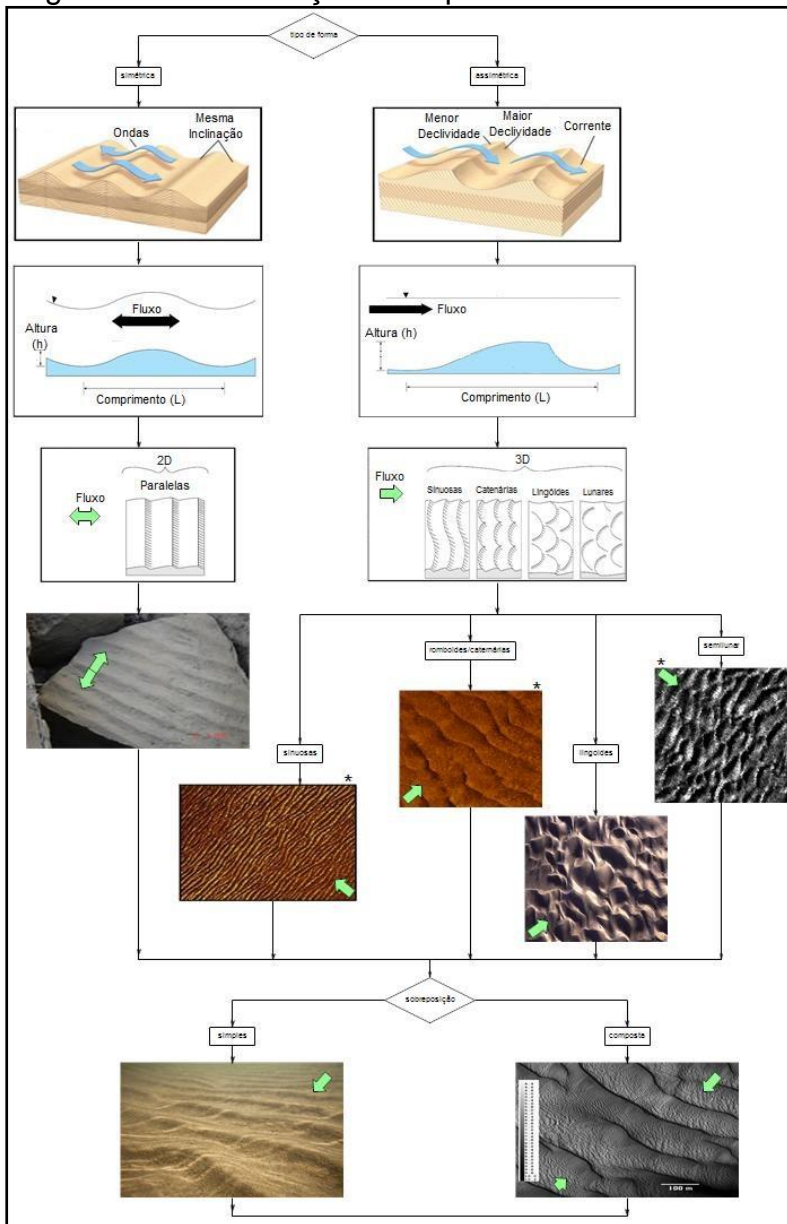
O AUTO TVG (*Automatic Time-Varying Gain*) função que divide os dados em faixas paralelas e equaliza o retroespalhamento, onde pode-se comparar de acordo com o nível desejado, ajustando manualmente (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, 2021)

O ganho EGN (*Empirical Gain Normalization*), calcula a média de todos os pings em função da altitude (Y) e do alcance (X), pelo transdutor. O filtro mostra a relação de contraste das imagens, preservando sua resolução de acordo com a tabela gerada (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, 2021).

O filtro NADIR, atua reduzindo a diferença de valores de pixel entre o nadir e valores fora do nadir. Ou seja, suaviza a diferença de pixels dos dados coletados pelo Side Scan Sonar à estibordo e a bombordo com uma largura filtrada em graus (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, 2021).

Na terceira etapa, foi medido o comprimento das feições (quando presente) e a direção de migração. Foi estipulado um n amostral para cada linha, onde foram graficadas através de um *script* via *python* (Apêndice 1), onde gerou-se gráficos de direção de migração. Por fim, as imagens de sonar de varredura lateral foram analisadas e classificadas de forma visual, de acordo com a metodologia de Porpilho (2015), e também pelo padrão adotado pela SEPM (Sociedade de Geologia Sedimentar), adaptado por Ashley (1990), conforme Figura 11 e Quadro 1.

Figura 11. Classificação dos tipos de formas de leito.



Fonte: Porpillo (2015)

Quadro 1. Classificação das formas de leito de acordo com Ashley

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

(1990).

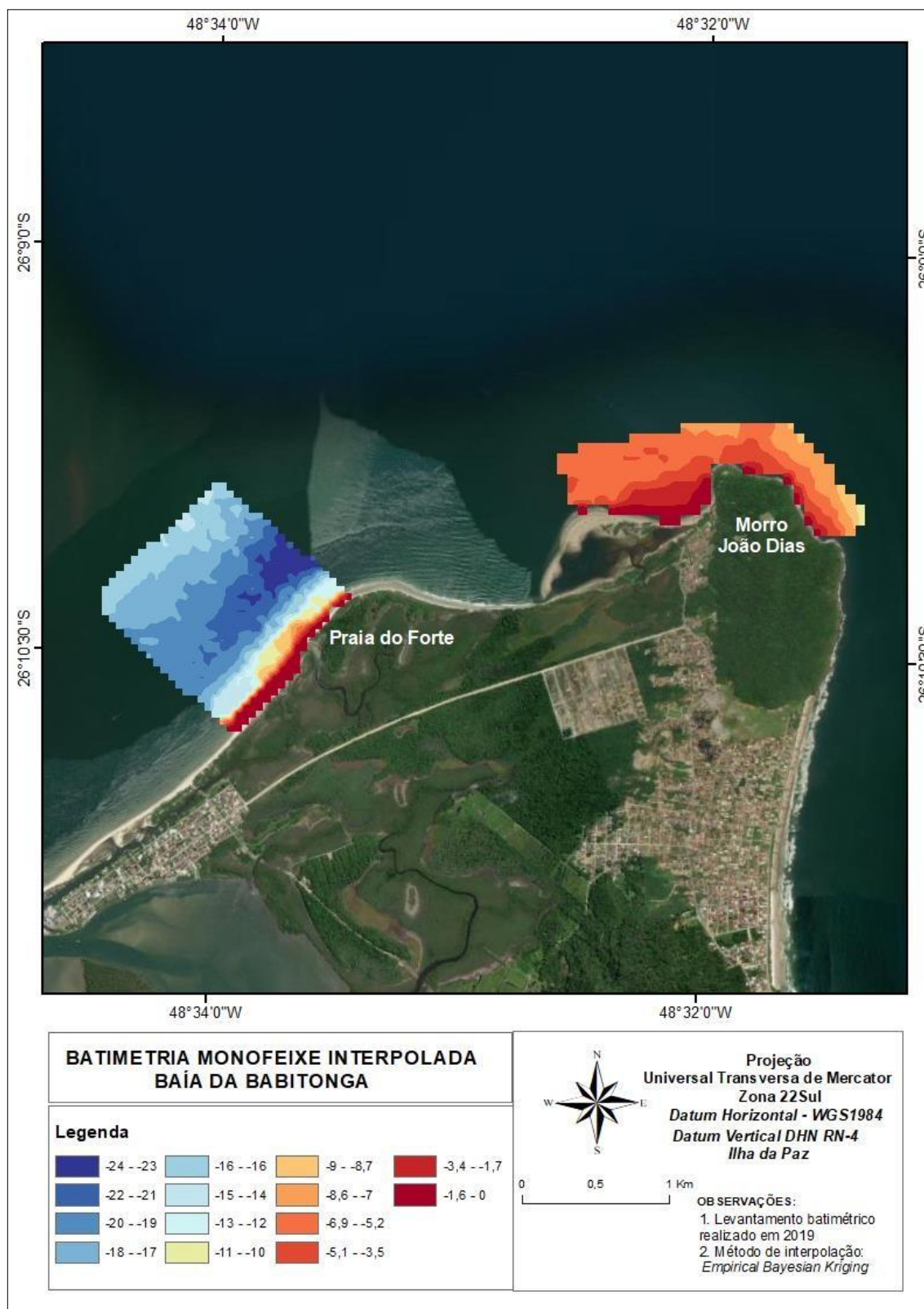
4 RESULTADOS

4.1 BATIMETRIA

4.1.1 Levantamento batimétrico 2019

No levantamento batimétrico ocorrido em 2019, a quilometragem aquisitada na área de estudo foi de aproximadamente 62 km. A profundidade máxima obtida no levantamento Monofeixe foi de -24 metros e mínima de -1,6m, compreendendo a área da desembocadura da baía, no ponto da Praia do Forte. Já para o ponto Morro João Dias, a profundidade máxima foi de -10 metros e a mínima de -1,6 metros conforme Figura 12.

Figura 12. Mapa batimétrico obtido a partir do levantamento Monofeixe em metros, interpolado pelo método Empirical Bayesian Kriging.

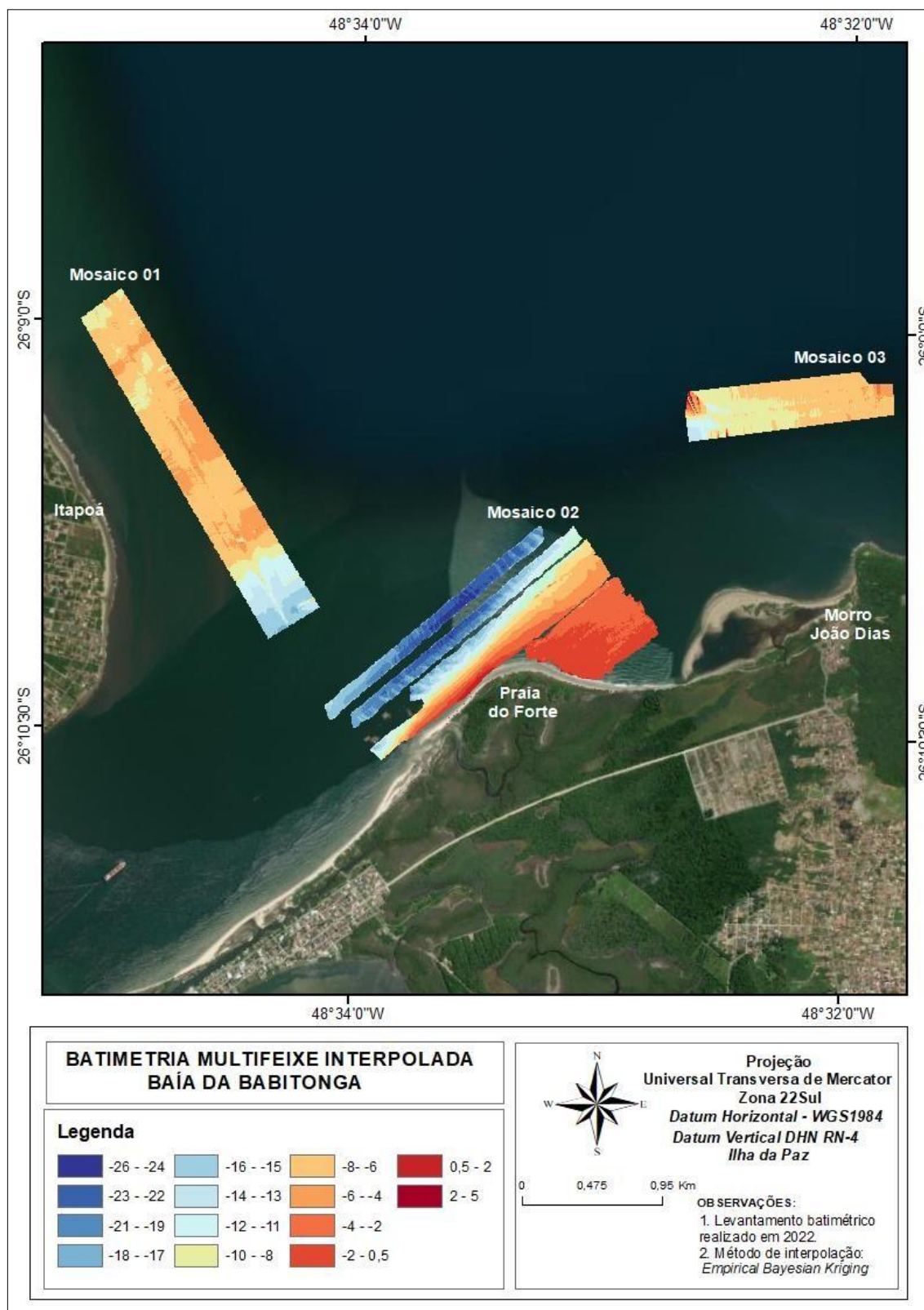


Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

4.1.2 Levantamento batimétrico 2022

No levantamento batimétrico ocorrido em 2022, a quilometragem aquirada na área de estudo foi de aproximadamente 100 km. A profundidade máxima obtida no levantamento multifeixe foi de -26 metros e a mínima de -2,0m. No mosaico 01, a profundidade máxima foi de -16m e a mínima de -6m. Para o mosaico 02, a profundidade máxima foi de -26m e mínima de 0,5m. No mosaico 03, a máxima foi de -12 metros e a mínima de -6 metros, conforme Figura 13.

Figura 13. Mapa batimétrico obtido a partir do levantamento Multifeixe em metros, interpolado pelo método Empirical Bayesian Kriging.

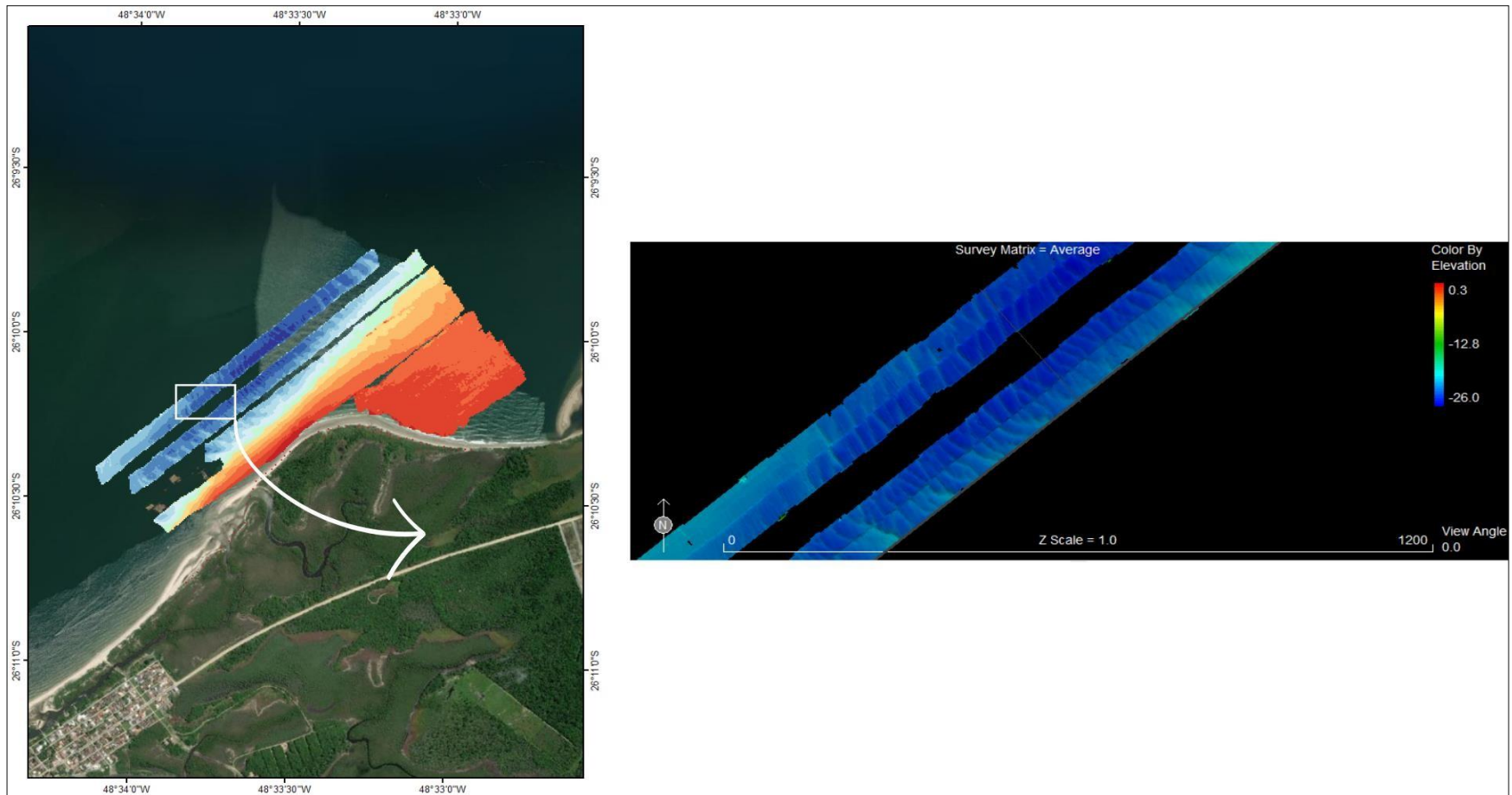


Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

Apesar de alguns pontos da aquisição de 2022 não apresentarem uma boa visualização conforme os mosaicos 01 e 03 da Figura 13, o método de interpolação *Empirical Bayesian Kriging* foi eficaz na representação da superfície em determinadas áreas.

No mosaico 03, pode-se visualizar as formas de leito como megaondulações. Na Figura 15, apresenta-se o detalhamento do perfil batimétrico da área da Praia do Forte em comparação com a interpolação.

Figura 14. Detalhamento da interpolação batimétrica com o perfil batimétrico extraído do HYACK2017.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela ERSI (2023).

4.2 SONOGRAFIA

4.2.1 Levantamento Sonográfico 2019

Os dados de sonografia do campo realizado em 2019 foram aqisitados com um sonar de varredura lateral a partir do qual gerou-se o imageamento do fundo (Figura 15).

Figura 15. Mapa sonográfico obtido a partir do levantamento de sonografia.



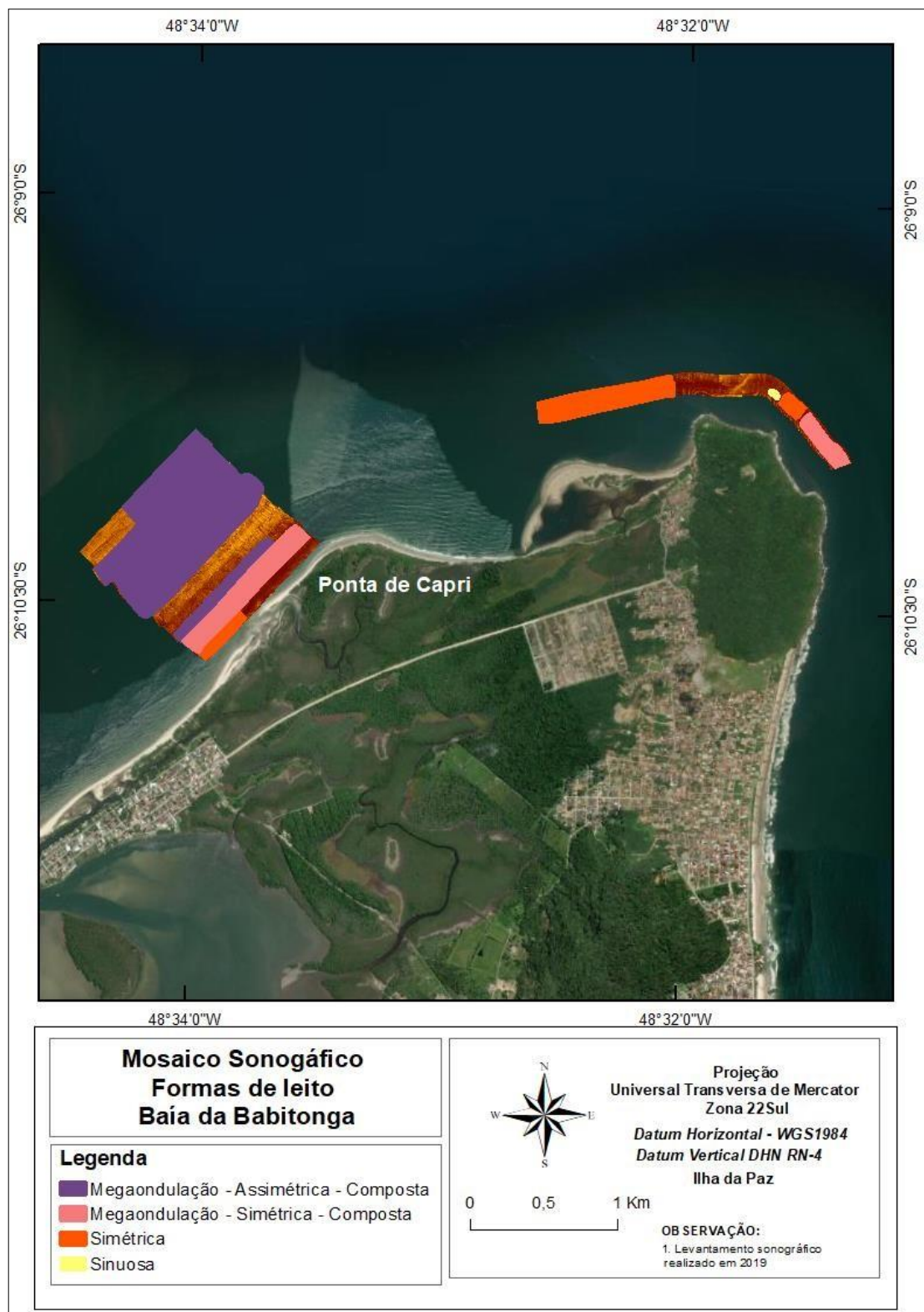
Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

4.2.1.1 *Formas de leito*

As feições encontradas nos mosaicos, são da ordem de 2 e 100 metros de comprimento. No ponto da Praia do Forte, as formas de leito variaram de tamanho, desde pequenas de 1,5 e 5 metros, as médias de 6 e 10m e grandes de 12 e 100 metros. No ponto próximo ao Morro João Dias, os comprimentos estavam na ordem de: pequenas de 1 e 4m, médias 6 e 10 m (em sua grande maioria), e grandes de 12 e 13 metros de comprimento.

Foram identificadas formas de leito, desde megaondulações assimétricas e simétricas, até marcas onduladas simétricas de tamanho mediano 6 e 10 metros de comprimento (Figura 16). Além de apresentarem sobreposição dentro de uma megaondulação, sendo classificadas como compostas (Figura 17).

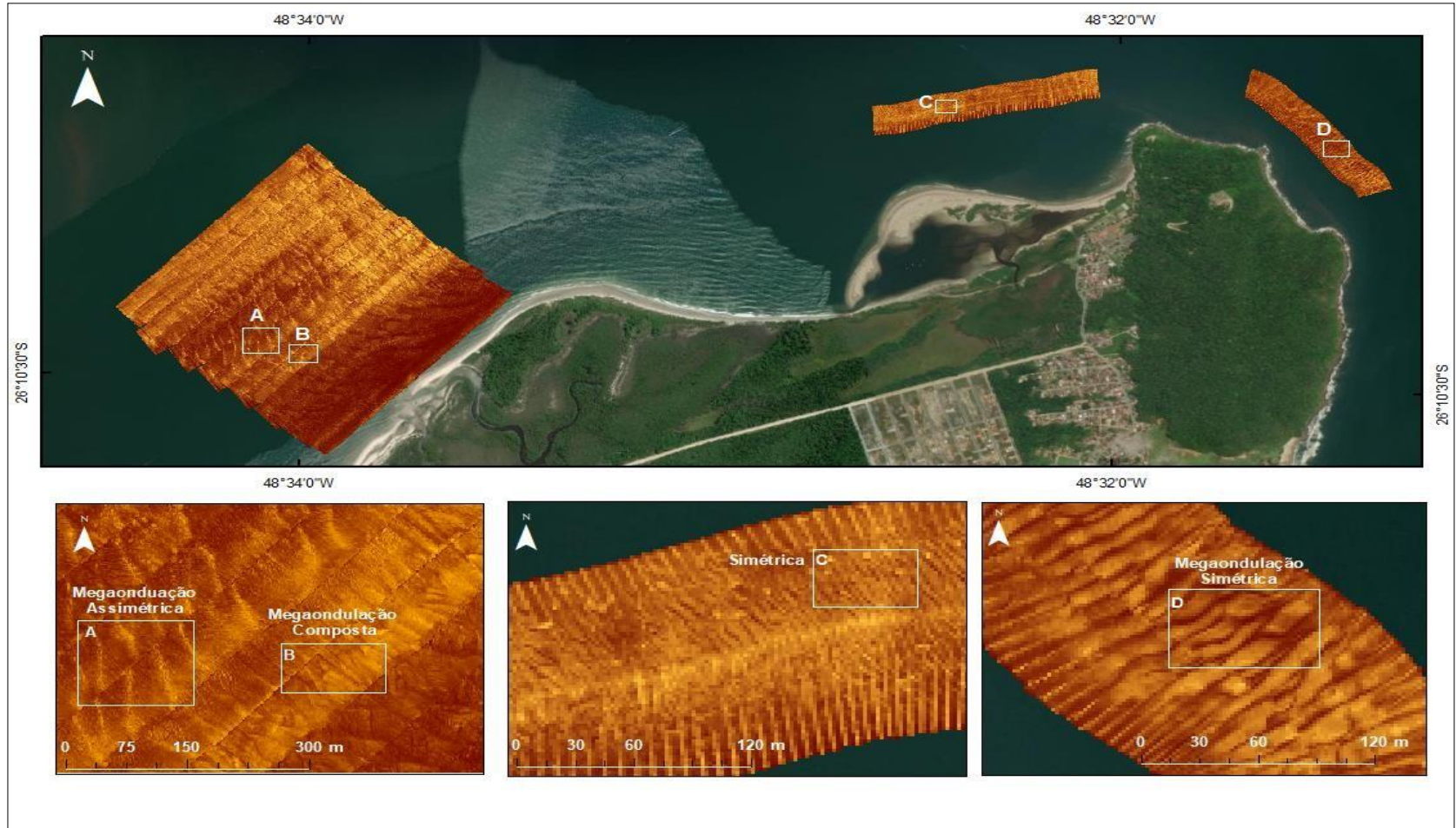
Figura 16. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

Na Figura 17, as megaondulações maiores que 50 metros de comprimento foram evidenciadas nos pontos A e B, onde a batimetria apresentou maior declividade, variando de -16 e -24 metros de profundidade. Já para o ponto C, o mosaico apresentou marcas onduladas com tamanho mediano, até pela profundidade do local, que variou de -5 e -7 metros. Observou-se também megaondulações no ponto D, porém com tamanho máximo de 13 metros.

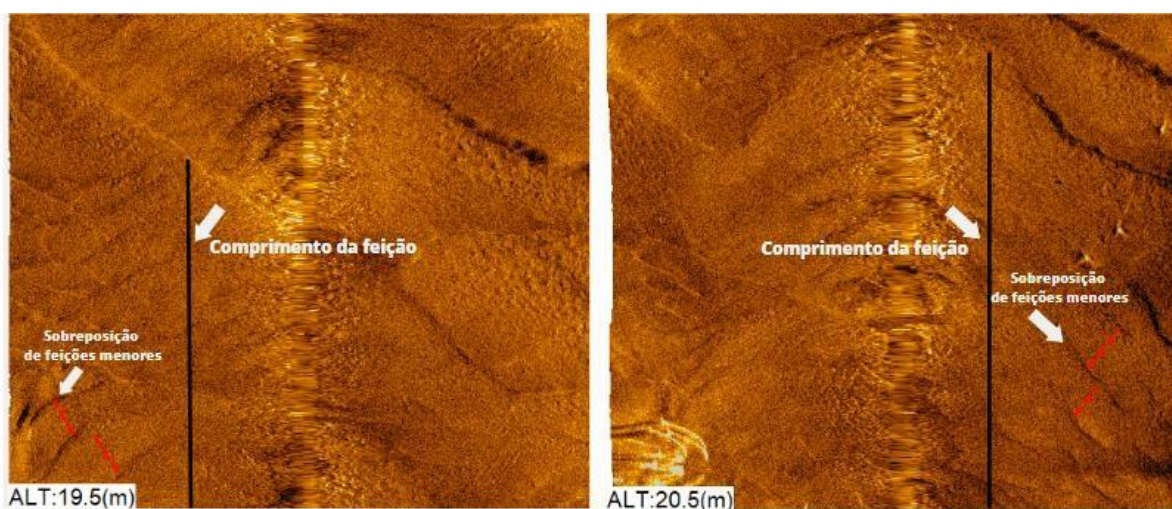
Figura 17. Registro de fundo arenoso com megaondulações - assimétrica - composta em A e B, Simétrica em C e megaondulações simétricas em D.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Ressalta-se que, na interpretação das megaondulações maiores que 50 metros, foi identificadas marcas onduladas sobre elas, variando de formas de leito sinuosas e catenárias. Na Figura 18, é apresentado um exemplo de uma megaondulação (linha em preto) e as sobreposições de feições menores (linha em vermelho), classificando-as como uma forma de leito do tipo composta.

Figura 18. Feições compostas. Linha em preto comprimento da feição (megaondulação) e linha em vermelho comprimento da forma de leito sobre a feição.



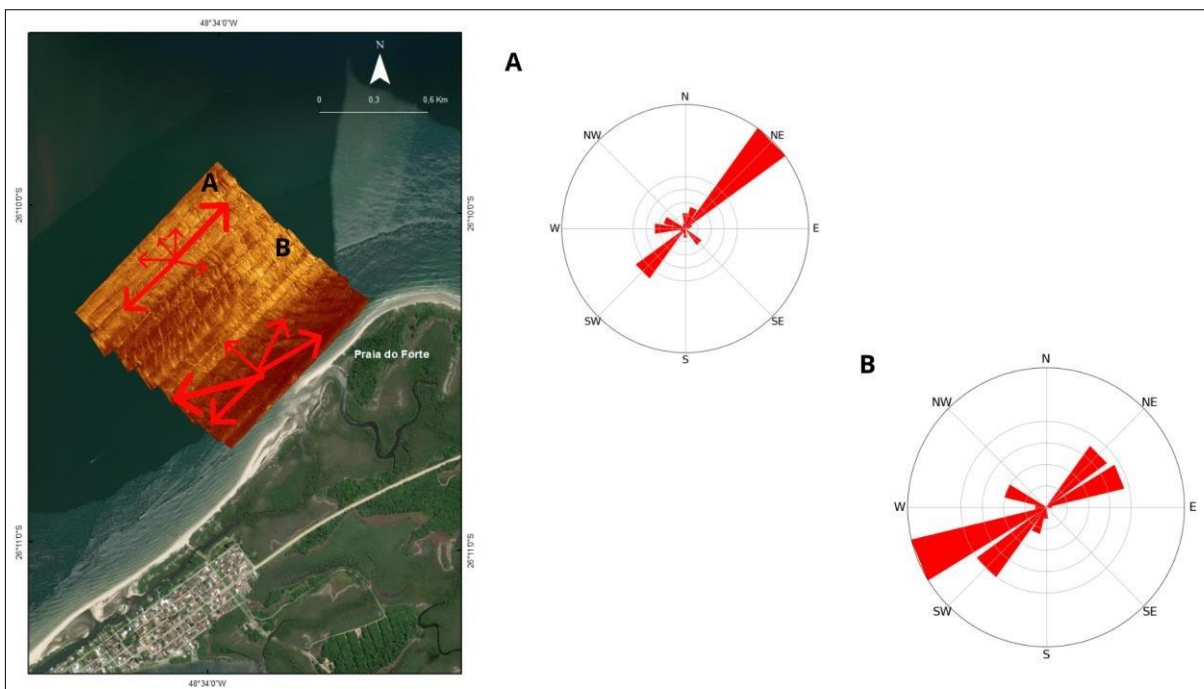
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2.1.2 Direção de migração

A direção de migração interpretada no imageamento sonográfico foi dividida entre os dois mosaicos e cada um separado por setor A e B, conforme sua profundidade. A representação nos gráficos, ao lado direito, apresentam para onde a feição está migrando e o tamanho das setas refere-se para onde a forma de leito está se direcionando em maior proporção.

No ponto da Praia do Forte as feições migraram em diferentes direções (Figura 19), em A nota-se que as formas de leito estavam migrando em maior proporção em direção nordeste, e algumas distribuídas nas extremidades de oeste, sul e norte, podendo ser as feições compostas sobrepostas nas megaondulações. Em B, região com profundidade máxima de -10 e -12 metros, as feições tenderam para entrada da desembocadura da baía, com migrações tendendo para oeste e sudoeste, com variações a nordeste.

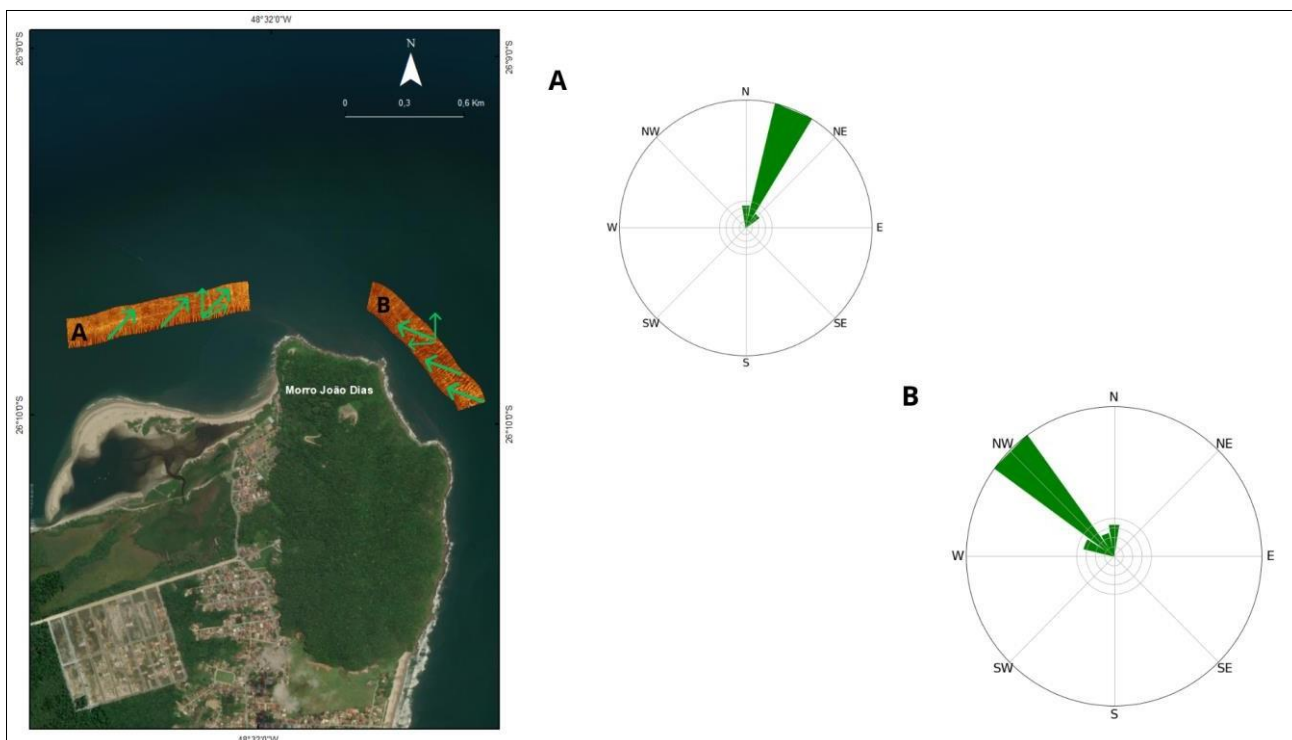
Figura 19. Direção das formas de leito em A e B no ponto da praia do Forte. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

Já para o ponto próximo ao Morro João Dias (Figura 20), as feições de cada mosaico apresentaram pequenas variações de migração. Em A, se direcionavam para Norte-Nordeste. Em B, foi predominantemente para Noroeste com feições indo para o Norte.

Figura 20. Direção das formas de leito em A e B no ponto Morro João Dias. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.



geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

4.2.2 Levantamento sonográfico 2022

Os dados obtidos no campo de 2022, foram aquisitados pelo sistema de interferometria, a partir do qual foram processados o total de 100 km de dado. Gerou-se três mosaicos em diferentes pontos da desembocadura. O primeiro localizado na porção noroeste - região de Itapoá, o segundo na porção sudoeste na Praia do Forte e o terceiro mosaico na porção sudeste, próximo ao morro João Dias (Figura 21).

Figura 21. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.

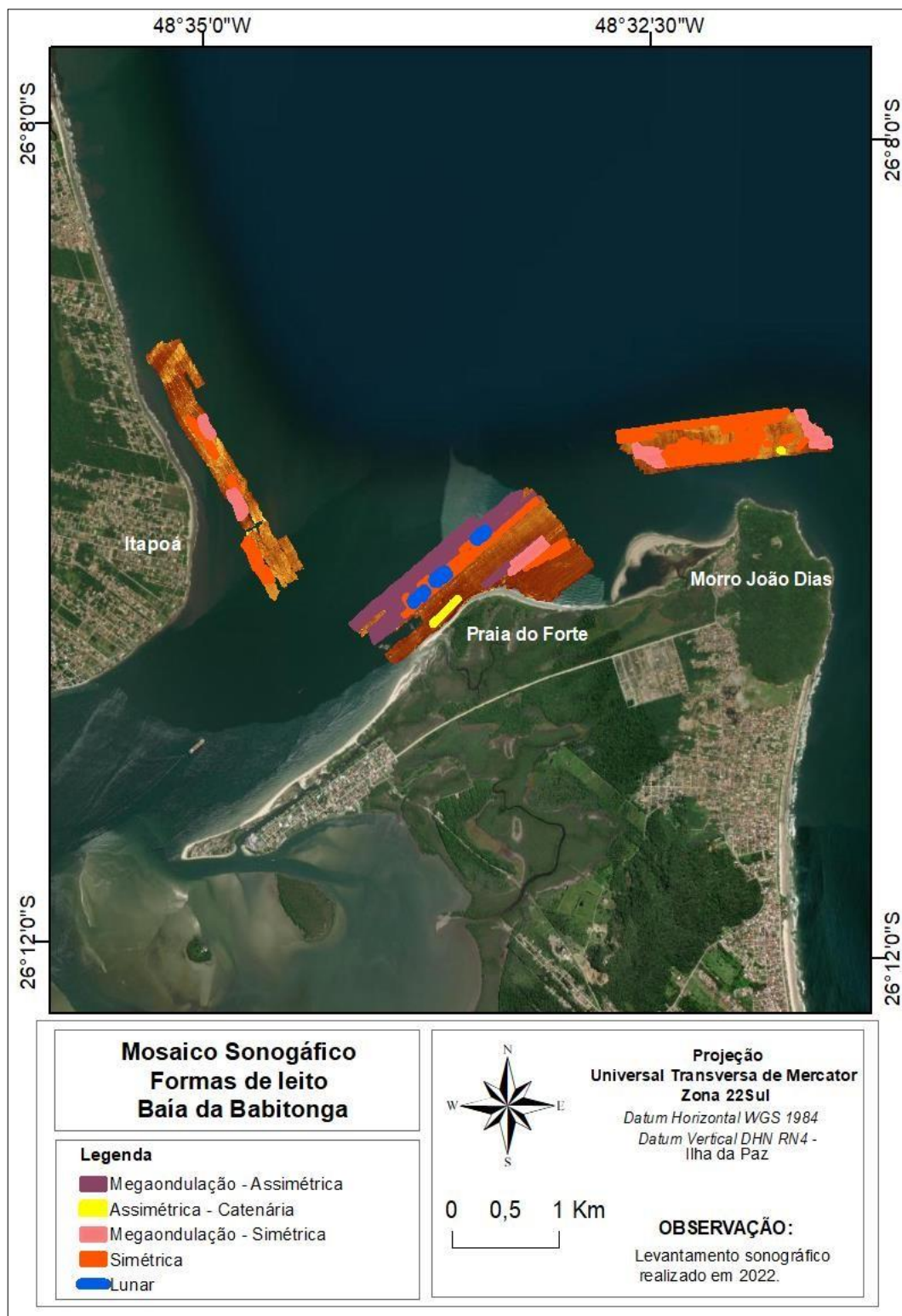


Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

4.2.2.1 *Formas de leito*

Foram identificados cinco padrões sonográficos distintos, como: marcas onduladas variando de megaondulações simétricas e assimétricas, padrões assimétricas sinuosas e lunares (Figura 22).

Figura 22. Mosaico sonográfico com a distribuição das formas de leito na Baía da Babitonga.

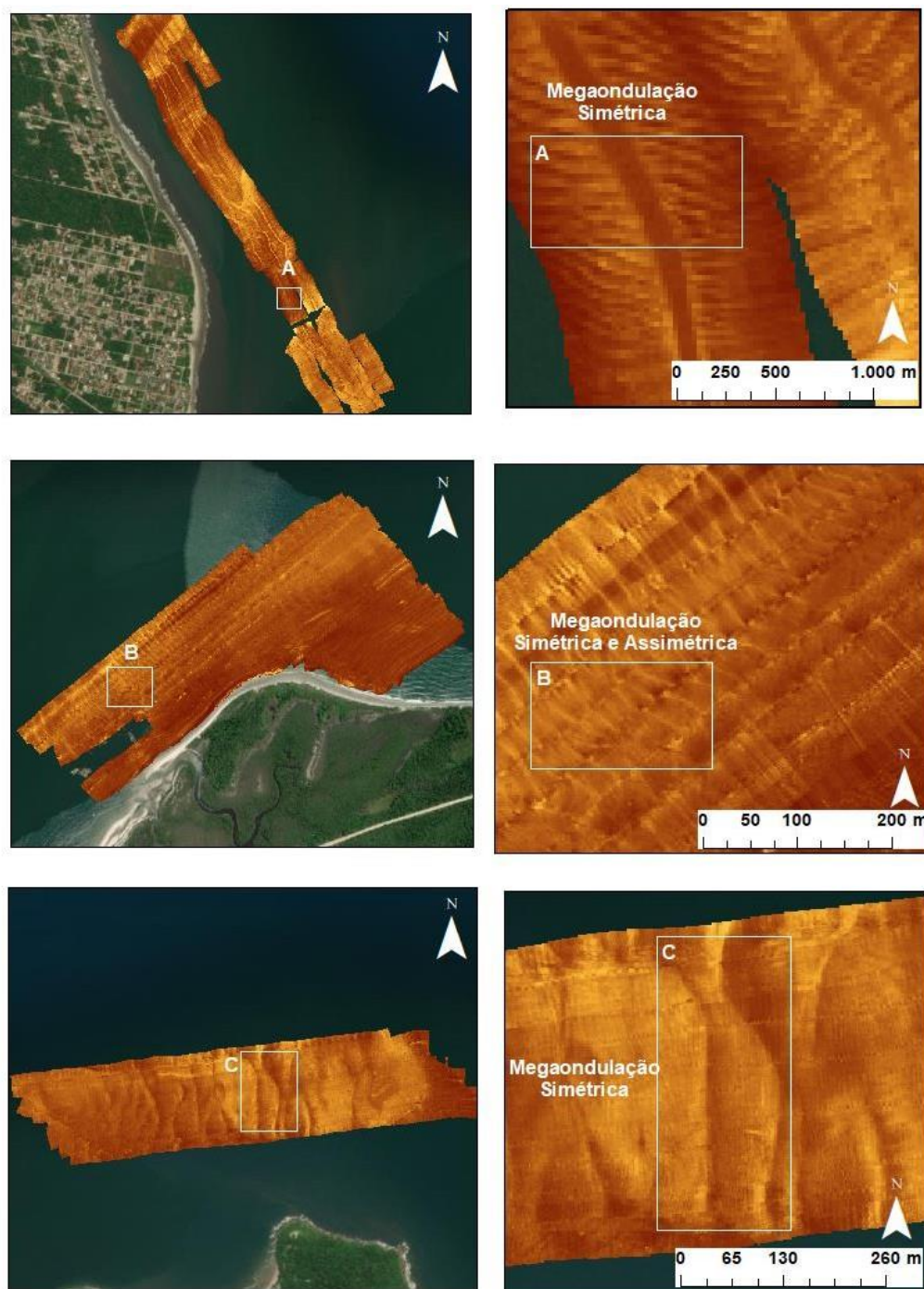


Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

As feições encontradas nos mosaicos variaram de diferentes tamanhos de comprimento, desde feições com 68 metros até 1,5 metro. No mosaico 01, foi identificado feições pequenas de 2 e 5m, médias de 6 e 10m e grande de 12 e 68 metros. Já para o mosaico 02, as feições pequenas tiveram comprimento de 3 e 5m, as médias de 7 e 8m e as grandes de 15 até 68 metros. Por fim, o mosaico 03, apresentou feições pequenas que variaram de 1 e 5m, as médias de 5 e 8m e grande de 15 e 55 metros de comprimento.

O detalhamento das feições encontradas pode ser visualizados na Figura 23.

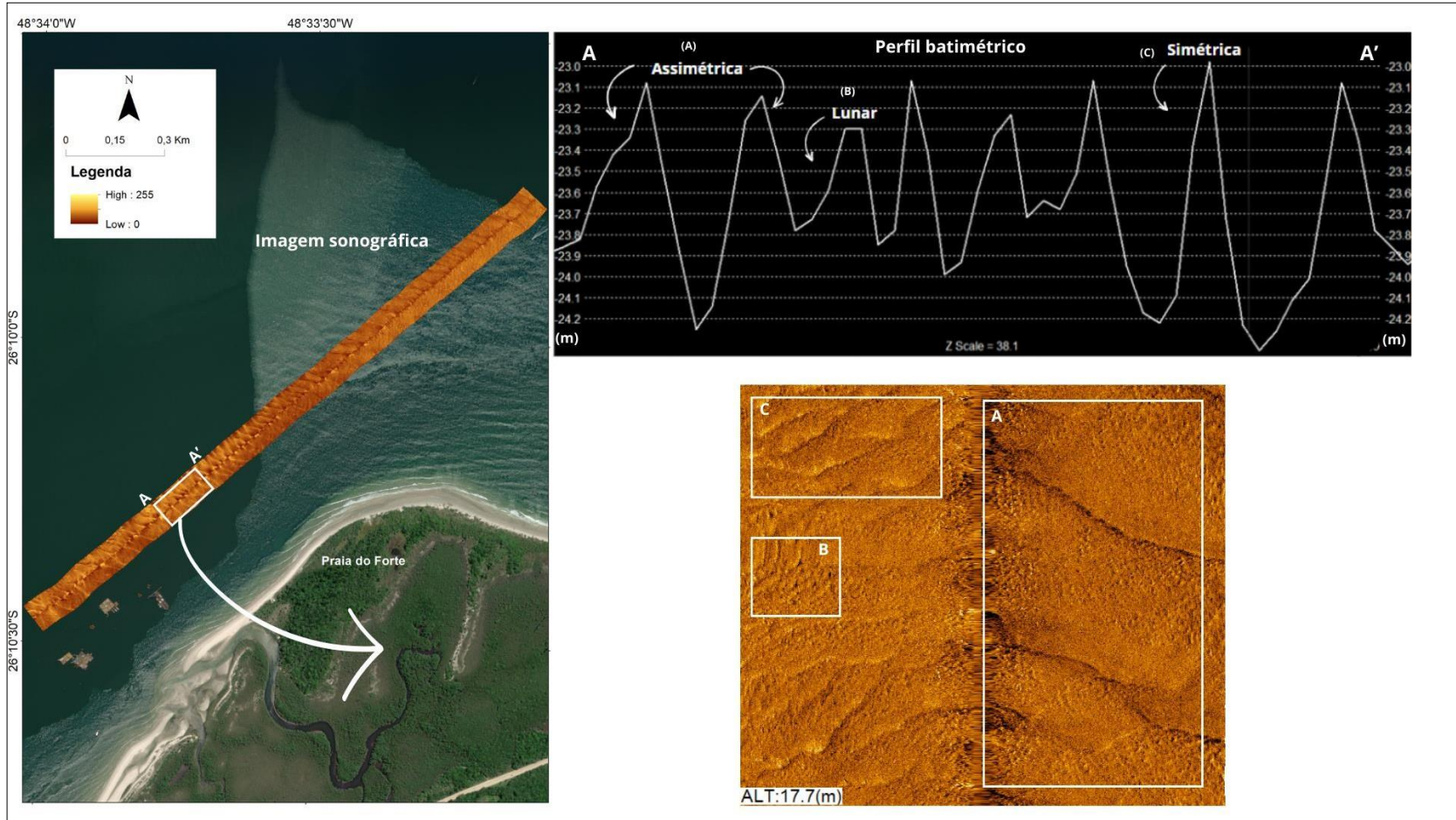
Figura 23. Registro de fundo arenoso com megaondulações - simétrica em A, megaondulação simétrica e assimétrica em B e megaondulação simétrica em C.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

No ponto da Praia do Forte, foi identificado um misto de feições, como megaondulação simétrica e assimétrica composta do tipo lunar, com altura chegando até 1 metro conforme perfil extraído da batimetria e a identificação no mosaico sonográfico (Figura 24).

Figura 24. Perfil batimétrico e imagem sonográfica identificando a altura e formas de leito da feição.

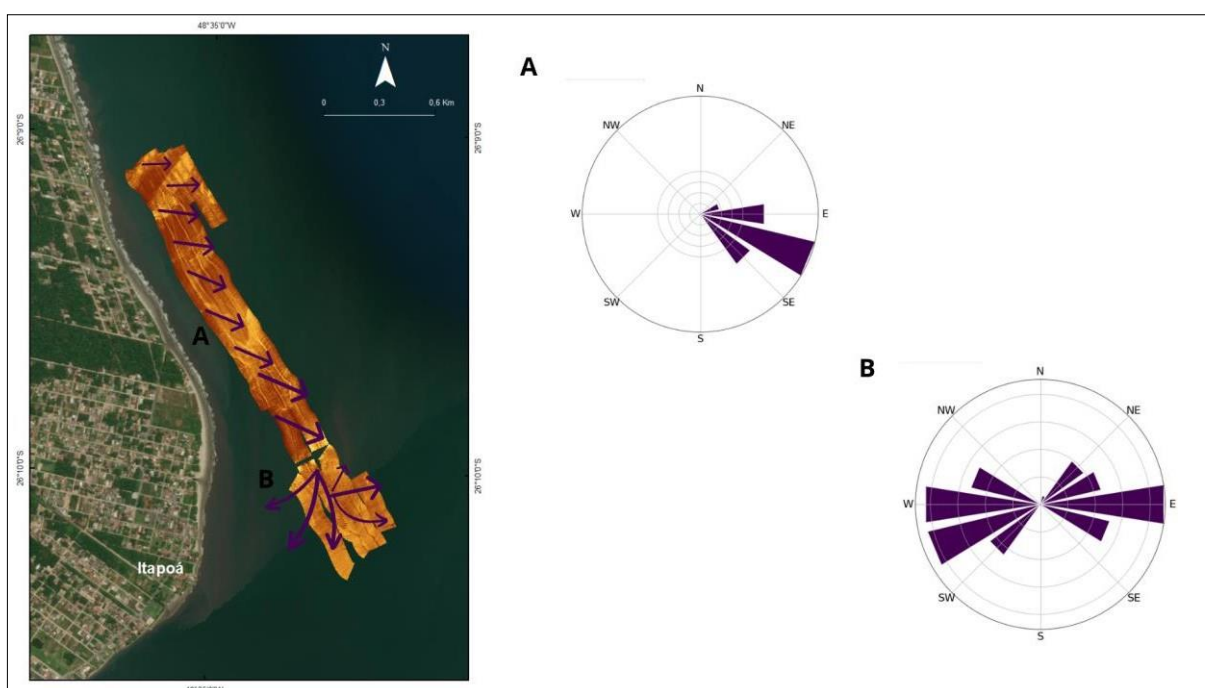


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2.2.2 Direção de migração

A interpretação do mosaico sonográfico foi dividida entre os três mosaicos e cada um separado por setor A e B. Na região de Itapoá (Figura 25), em A as feições tenderam de Norte para Nordeste. Em B, na entrada do canal principal, as feições migraram em direções opostas, formando uma simetria entre elas, com migrações tendendo para leste e oeste. Ressalta-se que, neste ponto, feições do tipo simétrica foram identificadas (Figura 22), validando a informação acima.

Figura 25. Direção das formas de leito em A e B no ponto Itapoá. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos à direita.



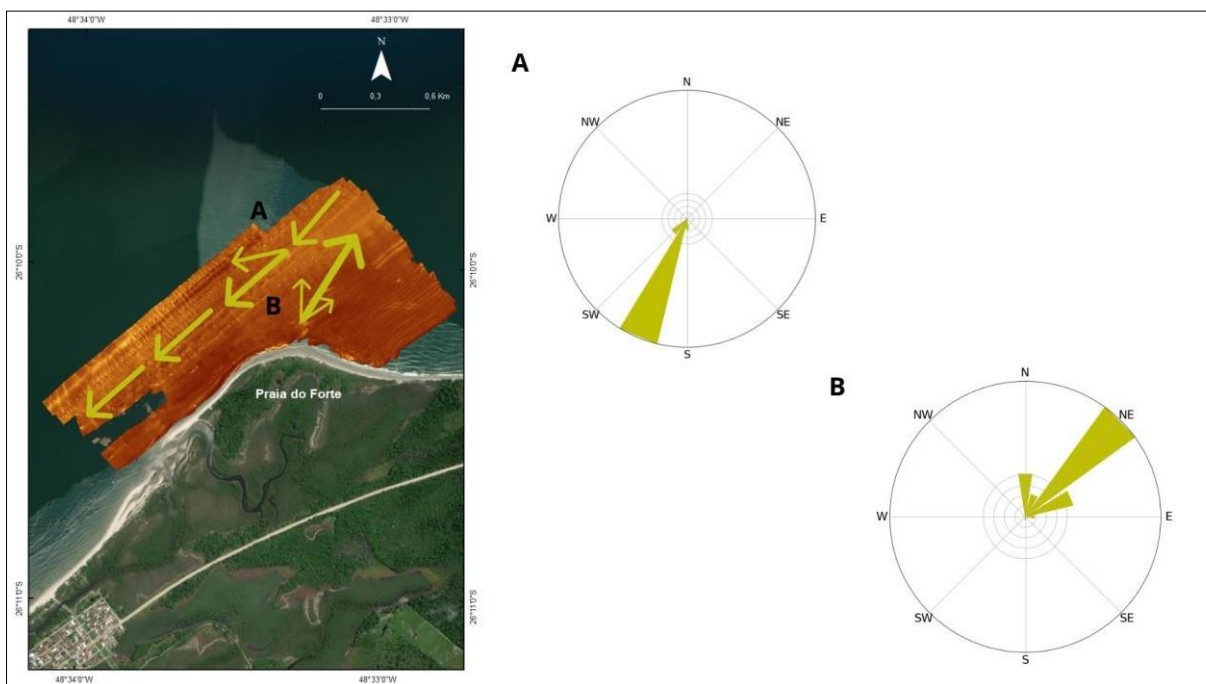
Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

No ponto da Praia do Forte (Figura 26), em A as formas de leito migraram sentido sudoeste, em direção a entrada do canal. Em B, as feições migraram em direções opostas de A, com sentido nordeste.

Ressalta-se que, isso demonstra uma possível assimetria entre as formas de leito, conforme consta nas interpretações do mosaico, megaondulações simétricas e

assimétricas são identificadas no mesmo perfil batimétrico e imageamento sonográfico (Figura 24).

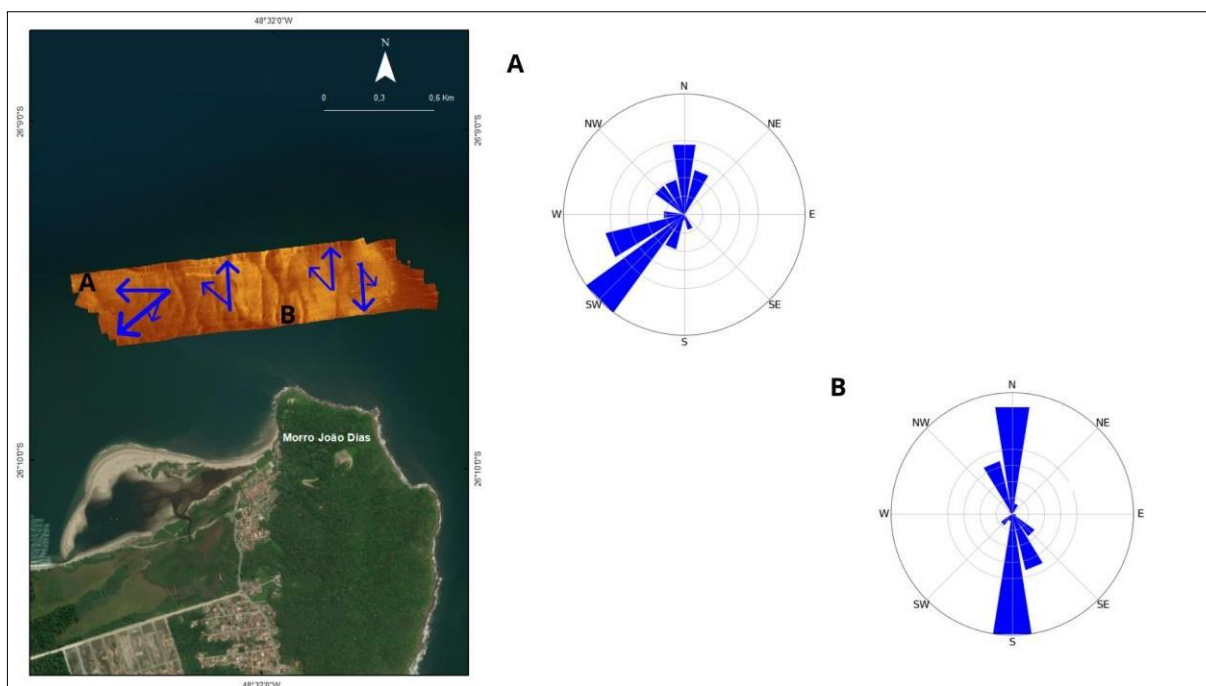
Figura 26. Direção das formas de leito em A e B no ponto da praia do Forte. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

No ponto próximo ao Morro João Dias (Figura 28), em A, a migração ocorreu em maior proporção no sentido sudoeste e as demais sentido noroeste e norte. Em B, evidencia-se novamente uma simetria entre as formas de leito, onde apresenta-se migrações sentido norte e sul.

Figura 27. Direção das formas de leito em A e B no ponto Morro João Dias. A esquerda o mosaico sonográfico indicado pelas setas as respectivas direções de acordo com os gráficos a direita.



Fonte: Elaborado pela autora em Projeção UTM, sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, FUSO 22S, com *Basemap* disponibilizado pela *Esri* (2023).

5 DISCUSSÃO

As profundidades máximas na região da desembocadura da baía da Babitonga, segundo (VIEIRA *et al.*, 2008), varia de 20 e 30 metros, o qual esta de acordo com os resultados batimétricos apresentados neste trabalho. Para além disso, as áreas com maior profundidade no canal, estão associados com bancos e depressões (VIEIRA *et al.*, 2017).

A combinação entre os dados de batimetria e sonografia resultaram na identificação das formas de leito, formadas pela interação das ondas e correntes e o tipo de sedimento. As feições encontradas na foz da baía são da ordem de 1 e 100 metros de comprimento e altura de 0,5 e 2m. Feições similares já foram identificadas na Baía Norte em Florianópolis, Santa Catarina, (Cooper *et al.*, 2019). Além disso, a definição das feições em grande escala, de acordo com suas dimensões, forma e processos de formação, identificadas neste estudo, foram classificadas segundo Ashley, (1984).

Segundo Cacchione *et al.*, (1984) e Porpilho *et al.*, (2014) a relação da intensidade do brilho do sonar de varredura lateral, esta relacionada com a resposta acústica do retorno do sinal, apontando a presença de sedimentos mais finos e grossos. A área mais escura, consiste em uma resposta acústica menos intensa, indicando a presença de sedimentos mais finos, com menor rugosidade. Já nas regiões mais claras e brilhantes, a resposta acústica é mais intensa, indicando assim, a presença de sedimentos mais grosso com maior rugosidade (AYRES, 2000) . Os mosaicos de sonar de varredura lateral de 2019 e 2022, variaram com a intensidade do brilho. As áreas mais claras coincidiram com profundidades mais acentuadas, entre -15 e -26 metros, sendo possível classificar as formas de leito como megaondulações assimétricas, simétricas e compostas conforme sua forma e comprimento (PORPILHO, 2015) Em áreas mais escuras e conseqüentemente mais rasas, a profundidade variou na ordem de -1,5 e -8 metros, onde a presença de formas de leito aleatórias, desde simétricas, assimétricas catenária e sinuosa (PORPILHO, 2015) com comprimentos de pequenas, médias e grandes de até 14 metros (ASHLEY, 1990).

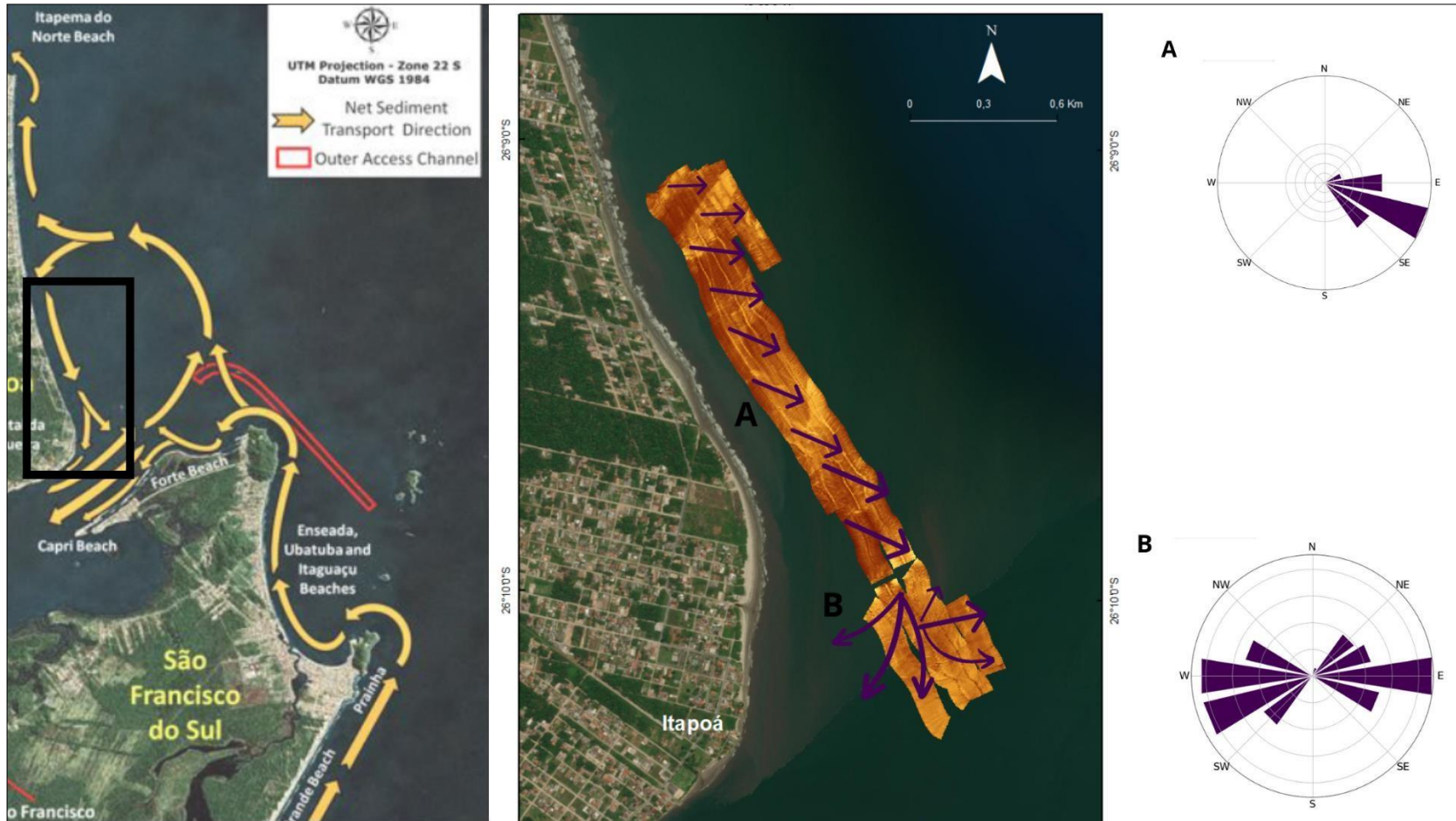
De acordo com segundo Lewis, (1984), as feições classificadas como megaondulações, estão na ordem de diâmetro médio de 0,3 até 2,0mm. Estas feições são encontradas na desembocadura da baía da Babitonga onde há predominância de areia fina (92,54%) devido a influência marinha, refletindo em um ambiente com hidrodinamismo intenso (VIEIRA *et al.*, 2017). Segundo Lewis, (1984) para gerar este tipo de formação, é necessário uma corrente com velocidade superior a 60 cm/s, e de acordo com Noerberg *et al.*, (2020), as correntes que passam pela desembocadura da baía da Babitonga durante a maré viva no verão, tem sua máxima de entrada com 95 cm/s e saída 150 cm/s, já no inverno sua máxima na entrada foi de 97cm/s e saída 140 cm/s. Além disso, essas formações devem ter o comprimento igual ou maior que a profundidade de ocorrência (PORPILHO,2015) como neste estudo, as megaondulações se encontram em profundidades superiores à 10 metros, validando as informações descritas pelos autores.

A análise de direção de transporte do sedimento proposto por Silveira *et al.*, (2012) em comparação com os resultados obtidos pela batimetria e sonografia, foram divididos nos mosaicos sonográficos.

Conforme Figura 28 à esquerda o modelo conceitual, em comparação à direita com o mosaico da região de Itapoá e a direção de migração.

Conforme ilustrado (Figura 28), o modelo conceitual evidencia que o sedimento é transportado para a praia, onde ocorre a inversão no sentido do transporte, parte entra no canal e outra é direcionado para as praias do norte, fechando o ciclo (SILVEIRA *et al.*, 2012) Em comparação com os dados sonográficos, em A verifica-se uma alteração no sentido de migração, indicando que a longo prazo, as mudanças na morfologia dos bancos de vazante podem afetar na propagação de ondas e conseqüentemente promovendo mudanças no transporte (SILVEIRA *et al.*, 2012). Em B é possível validar as informações de Silveira *et al.*, (2012), onde parte do sedimento entra no canal e outra se direciona para o norte.

Figura 28. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos no ponto Itapoá.

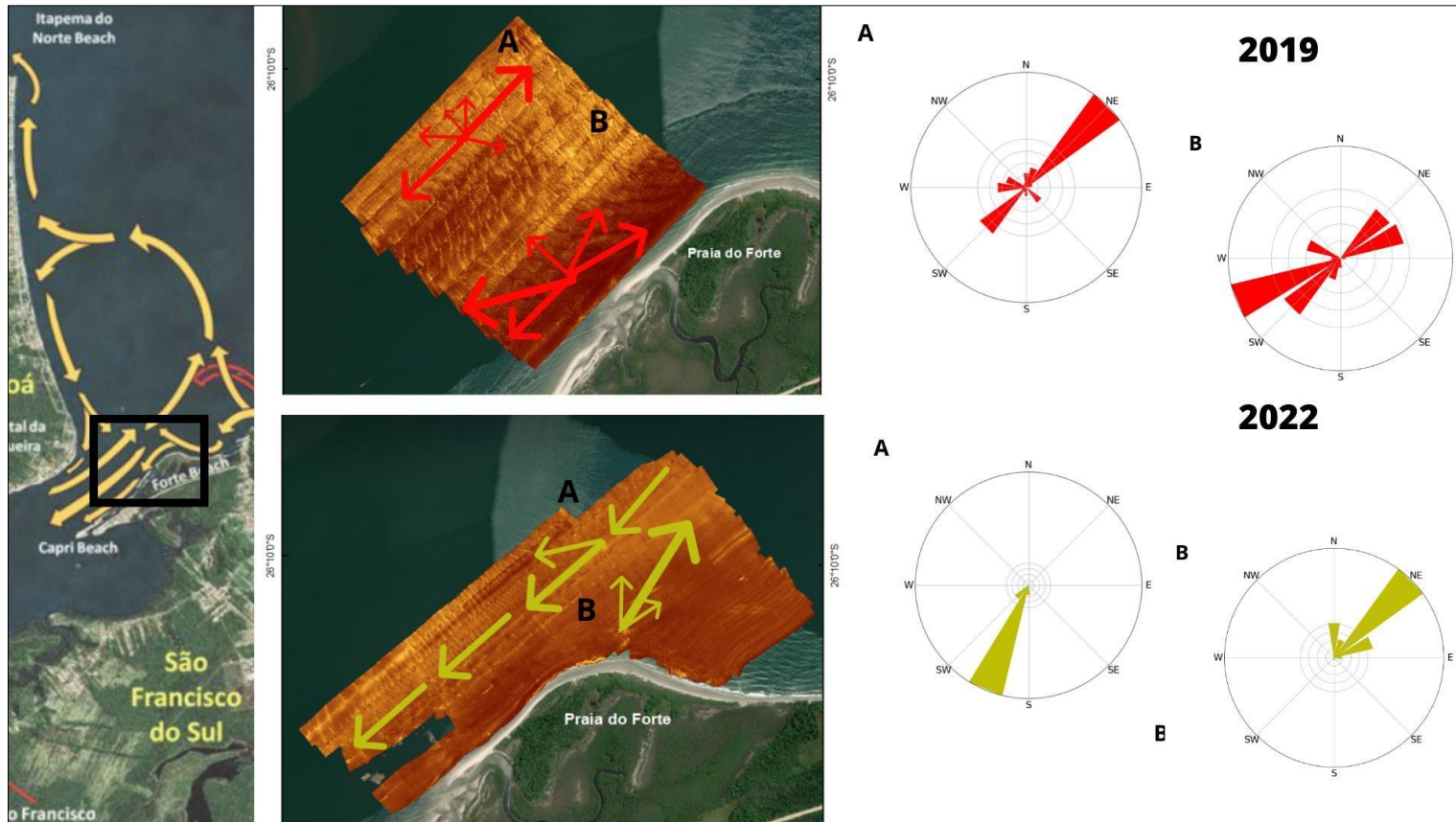


Já para o ponto da Praia do Forte, ilustra-se dois cenários em comparação com o modelo sedimentar de Silveira *et al.*, (2012), o primeiro mosaico adquirido em 2019 e o segundo mosaico adquirido em 2022 (Figura 29) .

Em ambos os mosaicos, a direção das feições resulta em um transporte mais complexo. Nota-se que em A e B, as migrações ocorreram no sentido de entrada e saída na desembocadura, convergindo entre si. Costa *et al.* (2019) cita que além das ondas dominarem a magnitude e a direção no transporte de sedimento na região da desembocadura, as marés também tem influência significativa. O efeito de correntes de maré aumenta a tensão de cisalhamento, mantendo os grãos em movimento com uma intensidade elevada de transporte entre o sistema da praia do Forte e Pontal do Capri. Como dito anteriormente, as velocidades das correntes que passam pela desembocadura da baía da Babitonga tem valores suficientes para contribuir com essa hidrodinâmica (NOERNBERG *et al.*, 2020).

Além disso, Porpilho,(2015) levanta a hipótese de feições do tipo megaondulações encontradas na Ponta dos Ingleses em Florianópolis, Santa Catarina, que migraram em sentidos opostos foram afetadas pela configuração geográfica do promontório que estaria mais susceptível a receber atuação de determinada corrente, que teria magnitude suficiente para gerar o transporte de sedimento por tração que geraria as megaondulações, as quais estão presentes em quase toda a área de estudo.

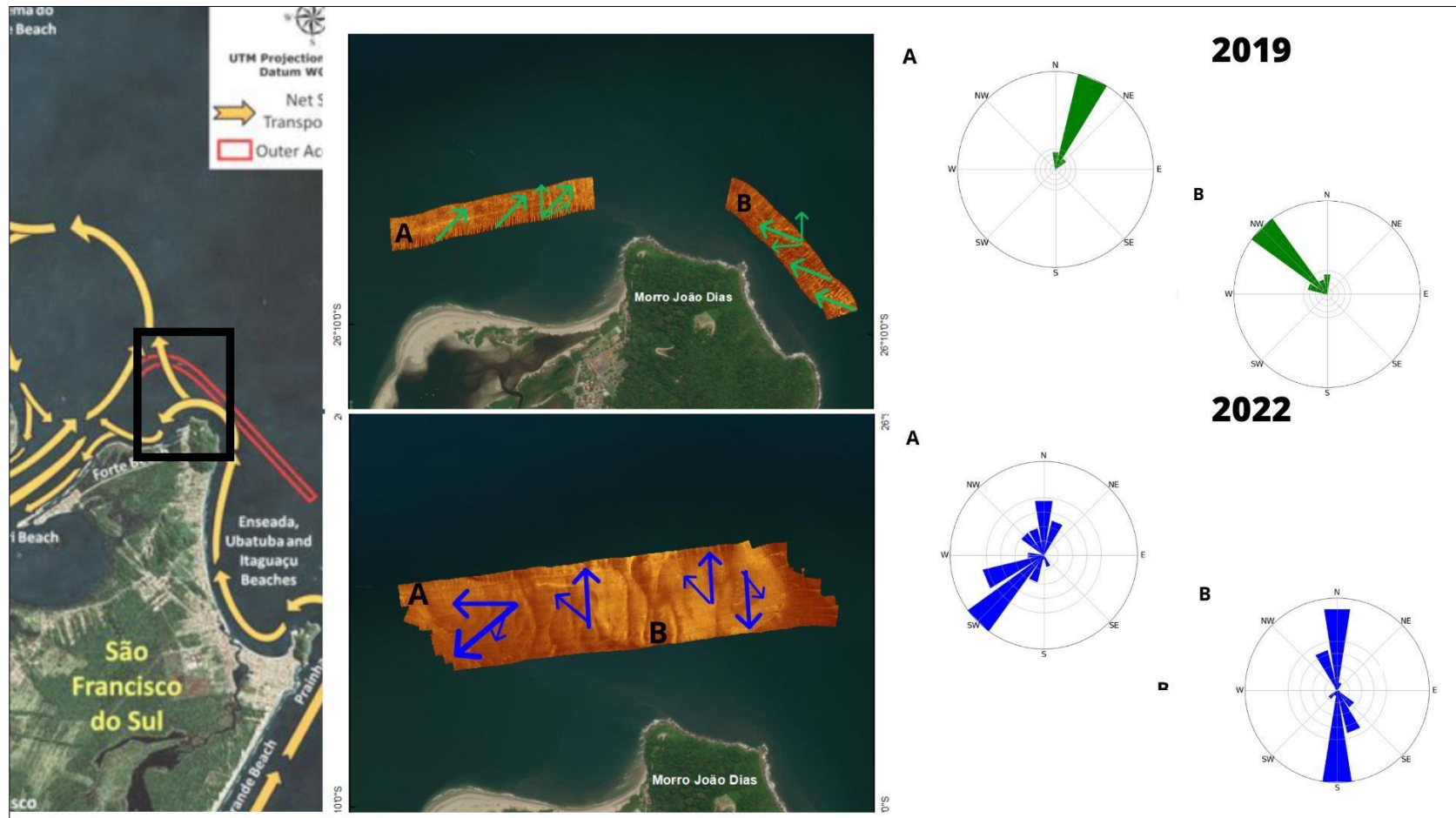
Figura 29. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos no ponto Praia do Forte.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o último cenário (Figura 30), de acordo com Araújo *et al.*, (2003), os padrões de incidência de ondas com interação a condições meteorológicas regionais são ondas do tipo vagas de leste-nordeste, sul-sudeste, sudeste, leste e leste-sudeste. Neste caso, as ondas são a principal força motriz no entorno do morro João Dias, ondulações vindo de sul - sudeste, geram transporte de sedimento para o norte, podendo indicar uma transposição de sedimento (*sediment bypass*) ao longo do promontório (Costa *et al.*, 2019 ; Klein *et al.*, 2020). Vieira da Silva *et al.*, (2016) identificou situações semelhantes em relação ao desvio de sedimento nos promontórios ao norte da Ilha de Santa Catarina.

Figura 30. Análise comparativa com o modelo sedimentar através dos dados sonográficos do ponto Morro João Dias.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6 CONCLUSÃO

Foram determinadas e classificadas diversas feições na desembocadura da baía da Babitonga, desde megaondulações simétricas e assimétricas, do tipo sinuosa, lunar e composta. Formas de leito que variaram de tamanho, com comprimentos de 1 até 68 metros de comprimento, associadas a intensidade de ondas, correntes e a morfodinâmica do ambiente, estando de acordo com a bibliografia.

Já para a direção de migração, as feições tenderam para diferentes direções conforme o tipo de força que atuava. No ponto Morro João Dias as migrações ocorreram de sudeste para nordeste e de sul para norte com pequenas variações de sudoeste para nordeste. Em Itapoá, o sentido foi de noroeste para nordeste, com desvio das feições na entrada da desembocadura, formando uma simetria, fator que determinou a presença de ondas em suas formações. No último ponto, a Praia do Forte, as formas de leito se direcionavam de nordeste para sudoeste e vice versa, entrando e saindo da desembocadura, além de ser o único local com a identificação de megaondulações do tipo assimétrica, o qual está diretamente relacionado com a presença de correntes de alta intensidade atuando na sua formação (NOERBERG *et al.*, 2020 ; Lewis, 1984)

Por fim, através do processamento e análise dos dados de batimetria e sonografia é possível validar o modelo conceitual de transporte de sedimento proposto por Silveira *et al.*, (2012), apesar de pequenas rotas de migrações não apresentarem a mesma dinâmica do modelo, em sua maioria se mostrou válido, desde a desembocadura e nas suas laterais do canal, em Itapoá e no Morro João Dias. Sugere-se para os próximos trabalhos, uma análise mais ampla na região do modelo, para posteriores resultados com maior precisão.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, C. S. de; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, F. **Wave regime characteristics of the Southern Brazilian coast**. VI International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, v. 4, p. 1–15, 2003.
- ASHLEY, G. M. Classification of large-scale subaqueous bedforms; a new look at an old problem. **Journal of Sedimentary Research**, v. 60, n. 1, p. 160–172, 1990.
- AYRES, A. **High resolution seismic reflection and sonography in submarine mineral exploration**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, p. 241–256, 2000.
- BECKERS, F.; NOACK, M.; WIEPRECHT, S. Uncertainty analysis of a 2D sediment transport model: an example of the Lower River Salzach. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 10, p. 3133–3144, 1 out. 2018.
- BLONDEL, P. **The Handbook of Sidescan Sonar**. 9. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- CABRAL, E. B. **Estudo geográfico do porto de São Francisco do Sul e do terminal de Itapoá - SC**. Universidade Federal de Santa Catarina Departamento de Geociências Curso de Pós-Graduação em Geografia. 2011.
- CACCHIONE, D. A.; DRAKE, D. E.; GRANT, W. D.; TATE, G. B. **Rippled scour depressions on the inner continental shelf off central California**. Journal of Sedimentary Petrology, v. 54, n. 4, p. 1280–1291, 1984.
- CHESAPEAKE TECHNOLOGY. **SonarWiz 7.7 User Guide**: Revision 7.07.03. 2021.
- COOPER, J. A. G.; GREEN, A. N.; MEIRELES, R.; KLEIN, A. H. F.; DE ABREU, J. G. N.; TOLDO, E. E. **Tidal strait to embayment: Seismic stratigraphy and evolution of a rock-bounded embayment in the context of Holocene sea level change**. Marine Geology, v. 415, p. 105972, 1 set. 2019.
- COSTA, W. L. L.; SILVEIRA, L. F.; KLEIN, A. H. F. **Influence of wave climate and tidal regime on headland bypassing - study case: northern of São Francisco do Sul Island, SC, Brazil**. 2019.
- D'AQUINO, Carla de Abreu. **Processos de transporte e retenção de sedimentos finos em estuários dominados por rios**. 2011. Tese - Programa de Doutorado em Geografia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.
- ENGEL, F.; BÖHM, R. F. S.; SILVEIRA, M. S.; DELL'AGNOLO, E. C.; POLETTE, M. O Canal do Linguado da Baía da Babitonga/SC: uma retrospectiva através da história e considerações sobre uma possível reabertura. **Geosul**, v. 32, n. 65, p. 87–101, 2017.
- HARRIS, P.T. & BACKER, E.K. **Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat**, 1st Edition. 2011.

Klein, A.H.F., Vieira da Silva, G., Taborda, R., Silva, A.P., Short, A.D., **Headland bypassing and overpassing: form, processes and applications**. In: Jackson, D., Short, A.D. (Eds.), *Sandy Beach Morphodynamics*. 2020. Elsevier (814p).

KOEHNTOPP, PAULO IVO. **GOVERNANÇA E MUDANÇA CLIMÁTICA NAS CIDADES CONTEMPORÂNEAS: O CASO DE JOINVILLE-SC**. 2010. Tese Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas - Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

KOEHNTOPP, P. I.; MELLO, Y. R. de; MAGNA, D. J.; SIMM, M.; BALDO, W.; VIEIRA, C. V. Caracterização climatológica na Baía Babitonga - parâmetros climáticos e meteorológicos - pluviosidade, temperatura e ventos. **Revista CEPSUL - Biodiversidade e Conservação Marinha**, v. 10, 2021.

Krivoruchko, K., **Empirical Bayesian Kriging**. Esri, Redlands, CA, USA. 2012.

LEWIS, D. W. **Practical sedimentology**. Stroudsburg, Pennsylvania: Hutchinson Ross Publishing Co, 1984.

EDGETECH 4600. Product Description, rev. 1.2.6, 2011.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MCLAREN, P.; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Research**, v. 55, n. 4, p. 457–470, 1 jul. 1985.

MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. de; KJERFVE, B. Princípios de Oceanografia Física de Estuários - Edusp. **Edusp**. 2002.

NOAA (Carbondale, CO). Susy Ellison, So You Want to be a Hydrographer? 5 nov. 2013. Disponível em: <https://noaateacheratsea.blog/tag/multi-beam-sonar/>. Acesso em: 30 ago. 2023.

NOERNBERG, M. A.; RODRIGO, P. A.; LUERSEN, D. M. Seasonal and fortnightly variability of the hydrodynamic regime at Babitonga Bay, Southern of Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 40, p. 101518, 1 nov. 2020.

OLIVEIRA, F. A. D. **Estudo do aporte sedimentar em suspensão na Baía da Babitonga sob a ótica da geomorfologia**. Doutorado em Geografia Física – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PORPILHO, D.; KLEIN, A.H.F.; de CAMARGO, R.S.V.; PRADO., M.F.V.; BONETTI, J.; SHORT, A.D.; FAKIRIS, E. **Automatic classification of bedforms using phase differencing bathymetric sonar**. in: *Underwater Acoustics International Conference and Exhibition*, 2nd edition, Rhodes. 505-510p. 2014.

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

- RAINEAULT, N. A.; TREMBANIS, A. C.; MILLER, D. C.; CAPONE, V. Interannual changes in seafloor surficial geology at an artificial reef site on the inner continental shelf. **Continental Shelf Research**, v. 58, p. 67–78, 15 abr. 2013.
- SALLES, T.; DUCLAUX, G. Combined hillslope diffusion and sediment transport simulation applied to landscape dynamics modelling. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 6, p. 823–839, 2015.
- SCHETTINI, C.; CARVALHO, J. CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO CUBATÃO, JOINVILLE. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 3, 1999.
- SIEGLE, E.; SCHETTINI, C. A. F.; KLEIN, A. H. F.; TOLDO JR., E. E. Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: pre jetty conditions. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 2, p. 123–135. 2009.
- SILVEIRA, L.; BENEDET, L.; SIGNORIN, M.; BONANATA, R. Evaluation of the relationships between navigation channel dredging and erosion of adjacent beaches in southern Brazil. **Coastal Engineering Proceedings**, v. 1.2012.
- SOUZA, L. A. P. de. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. Universidade de São Paulo, 2006.
- TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. MARÉS ASTRONÔMICAS NA BAÍA DA BABITONGA, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 3, n. 1, p. 57–66, p57-66. 1999.
- VIEIRA, C.; FILHO, N.; BONETTI, C.; BONETTI, J. Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Baía da Babitonga/SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 62, p. 85–105, 31 dez. 2008.
- VIEIRA, C. V.; FILHO, N. O. H. Paisagem marinha da baía da Babitonga, nordeste do estado de Santa Catarina (Marine landscape of the Babitonga bay, northeast of Santa Catarina state). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1677–1689, 2017.
- VIEIRA DA SILVA, G.; TOLDO, E. E.; KLEIN, A. H. da F.; SHORT, A. D.; WOODROFFE, C. D. Headland sand bypassing — Quantification of net sediment transport in embayed beaches, Santa Catarina Island North Shore, Southern Brazil. **Marine Geology**, v. 379, p. 13–27. 2016.
- WRIGHT, L. D. **Morphodynamics of Inner Continental Shelves**. 1ª ed. Boca Raton: CRC-Press, 1995.
- YAO, P.; SU, M.; WANG, Z.; VAN RIJN, L. C.; ZHANG, C.; STIVE, M. J. F. Modelling tidal-induced sediment transport in a sand-silt mixed environment from days to years: Application to the Jiangsu coastal water, China. **Coastal Engineering**, v. 141, p. 86–106, 2018.

APÊNDICE A

Script gráfico de direção das formas de leito:

```

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

diretorio =
'https://drive.google.com/drive/folders/1MOJFIKXSxyZQAUc2XkrO5d8Do8kEBR
bN?usp=sharing'

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd

!apt-get -qq install -y libfluidsynth1 #https://pypi.python.org/pypi/libarchive#
#!apt-get -qq install -y libarchive-dev && pip install -U libarchive##import
libarchive#
# https://pypi.python.org/pypi/pydot
!apt-get -qq install -y graphviz && pip install pydot
import pydot
!pip install cartopy
import cartopy
!pip install windrose
from windrose import WindroseAxes#

Definindo cores personalizadas
color = ['red', 'green', 'blue', 'purple', 'orange', "brown"]#Abrindo os
dados de vento
dados = pd.read_csv('/content/sample_data/Pasta1.csv', delimiter=';')
plt.rcParams["font.size"] = 20

ax = WindroseAxes.from_ax (theta_labels=["E", "N-E", "N", "N-W", "W", "S-W",
"S", "S-E"])

ax.bar(
    dados ["dir"],
    dados["int"],
    normed = True,

```



```
bins=np.arange(1,10,3),
    opening=0.8,
    edgecolor="white",
color= "green")

ax.set_yticks(np.arange(0, 20, step=4))
plt.title("Sentido de Migração", y=1.08, fontsize="20")
```