

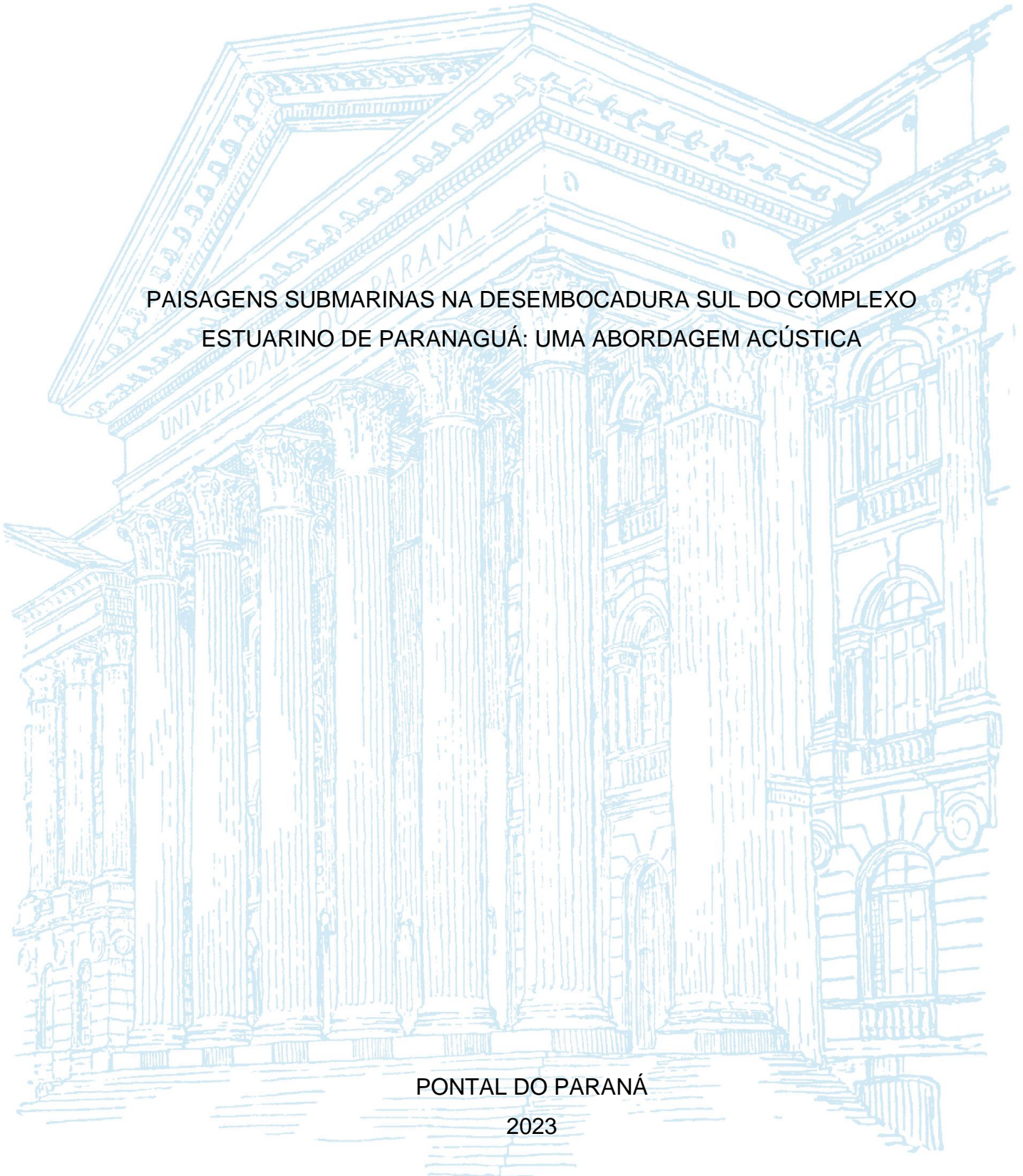
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SABRINA CALIXTO PAVONI RAMOS

PAISAGENS SUBMARINAS NA DESEMBOCADURA SUL DO COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ: UMA ABORDAGEM ACÚSTICA

PONTAL DO PARANÁ

2023



SABRINA CALIXTO PAVONI RAMOS

PAISAGENS SUBMARINAS NA DESEMBOCADURA SUL DO COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ: UMA ABORDAGEM ACÚSTICA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau em Bacharel em Oceanografia com habilitação em Pesquisa Oceanográfica, ao curso de graduação em Oceanografia, Campus Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour

PONTAL DO PARANÁ

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE OCEANOGRAFIA
Avenida Deputado Aníbal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do
Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: (41) 3511-8626 - <http://www.ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO
TERMO DE APROVAÇÃO

Sabrina Calixto Pavoni Ramos

**“PAISAGENS SUBMARINAS NA DESEMBOLCADURA SUL DO COMPLEXO ESTUARINO DE
PARANAGUÁ: UMA ABORDAGEM ACÚSTICA”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharela em
Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. Marcelo Renato Lavoura

Prof. Orientador - Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

Documento assinado digitalmente



MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG

Data: 14/03/2023 12:05:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg
Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

Prof. Dra. Taísa Comerlato

Universidade Federal de Santa Catarina

Pontal do Paraná, 03 de março de 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Camila Calixto e Rogério Pavoni Ramos, por tanto amor, carinho, apoio e conselhos em todas as escolhas que fiz nesta vida até agora, sem vocês nada disto seria possível. E a minha irmã, Heloisa Calixto Pavoni Ramos, por sempre me lembrar do lado leve e alegre da vida.

Ao meu namorado, José Alfredo Manrique, por compartilhar das minhas dores e felicidades, por todo amor, apoio, incentivo e carinho nesta caminhada.

Ao meu orientador de monografia, Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour, pelas orientações na vida acadêmica. Seu amor e entusiasmo pela oceanografia geológica me incentivaram e incentivam a trilhar o caminho nesta área.

À Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), pelos dados sonográficos e batimétricos utilizados neste trabalho, e também pelo apoio e incentivo para a realização deste estudo.

À toda Universidade Federal do Paraná por proporcionar educação de qualidade e lutar pela ciência brasileira.

A todos os professores e professoras que tive ao longo da minha vida acadêmica, os quais possuem toda a minha admiração por dedicarem suas vidas pela a educação.

As minhas colegas de turma, em especial Gabrielle Lube, Maria Fernanda Kuba, Stephani Tiné e Amanda Souza, por compartilharem as angústias e alegrias da graduação, incluindo as noites mal dormidas.

À Maris – Empresa Júnior de Oceanografia e toda a gestão dos anos de 2021 e 2022, por compartilharem do amor pelo empreendedorismo, pelas amizades ali criadas e pelos tantos momentos dentro e fora da sede.

E por último e não menos importante, eu expresso aqui o meu agradecimento a todas as mulheres da minha família Calixto, as quais tenho como referência de mulheres fortes e incríveis, pelo amor e pelo carinho desde sempre, vocês me ensinam o real significado do poder feminino.

A vida me ensinou a nunca desistir.
Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir.
(Charlie Brown Jr., 2005)

RESUMO

As feições de fundo, distribuídas ao longo dos leitos de desembocaduras de estuários, podem servir como grandes aliados nas interpretações de transportes de sedimentos e padrões hidrodinâmicos. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) se enquadra entre os maiores estuários do Brasil, apresentando duas desembocaduras, Norte e Sul, com limites geográficos marcados pela presença da Ilha do Mel. Este trabalho teve como objetivo realizar o estudo da dinâmica sedimentar da desembocadura sul do CEP, através da identificação e caracterização das paisagens submersas formadas por feições de fundo. As feições foram identificadas a partir da análise digital e interpretação de imagens de sonar de varredura lateral, cedidas pela Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA). As paisagens submersas identificadas neste trabalho apresentaram predominância de feições de dunas subaquosas (*dunes*) e ondas de areia (*sandwaves*), com cristas predominantemente sinuosas e cuspidadas. Estavam distribuídas e associadas aos sedimentos compostos principalmente por areias finas, velocidades médias do fluxo em torno de $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ e profundidades médias do estuário (-5 a -15 m). Além disso, as dunas subaquosas puderam ser relacionadas com transportes mensais de sedimentos, enquanto as ondas de areia estavam relacionadas aos transportes mais longos de sedimentos, em termos oceanográficos, na escala de décadas.

Palavras-chave: Paisagens submersas; Feições de fundo; Sonar de varredura lateral; Desembocadura de estuário; Complexo estuarino de Paranaguá.

ABSTRACT

The bottom features, distributed along the beds of estuary mouths, can serve as great allies interpreting of sediment transport and hydrodynamic patterns. The Paranaguá Estuarine Complex (PEC) is one of the largest estuaries in Brazil, with two mouths, North and South, with geographic boundaries marked by the presence of Ilha do Mel. The objective of this work was to study of the sedimentary dynamics of the PEC south mouth, through the identification and characterization of submerged landscapes formed by bottom features. The features were identified from the digital analysis and interpretation of side scan sonar images provided by the Administration of the Ports of Paranaguá and Antonina (APPA). The submerged landscapes identified in this work showed a predominance of features of underwater dunes and sand waves, with predominantly sinuous and spiky crests. They were distributed and associated with sediments composed mainly of fine sands, mean flow velocities around $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and mean depths of the estuary (-5 to -15 m). Furthermore, underwater dunes could be related to monthly transports of sediments, while sand waves were related to longer transports of sediments, in oceanographic terms, on the scale of decades.

Keywords: Submerged landscapes; Bottom features; Side scan sonar; Estuary mouth; Paranaguá estuary complex.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MODELO GEOMORFOLÓGICO DE UM ESTUÁRIO HIPOTÉTICO, MOSTRANDO AS ZONAS DO ESTUÁRIO, INFLUÊNCIA DAS CORRENTES E DELTAS DE MARÉS.....	23
FIGURA 2 – MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ VAZANTE EM COSTAS COM REGIMES DE MESOMARÉ, SOB INFLUÊNCIA DE ONDAS E CORRENTES DE DERIVA LONGITUDINAL E DE MARÉ.....	27
FIGURA 3 – FORMAÇÃO DAS FORMAS DE LEITO PELA VELOCIDADE MÉDIA DO FLUXO E GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO.....	30
FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DE MARCAS ONDULADAS PELA FORMA DA CRISTA.....	31
FIGURA 5 – MODELO DO SISTEMA DO SONAR DE VARREDURAL LATERAL (SVL).....	33
FIGURA 6 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO LITORAL DO PARANÁ, COM DESTAQUE NA BAÍA DE GUARATUBA E NO CEP.....	35
FIGURA 7 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BAÍAS DO CEP, DRENAGEM DOS RIOS, CANAL DA GALHETA E DESEMBOCADURAS.....	37
FIGURA 8 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) NA DESEMBOCADURA DO CEP. ONDE: AG - AREIA GROSSA; AM - AREIA MÉDIA; AF - AREIA FINA; AMF - AREIA MUITO FINA; SG - SILTE GROSSO; SM - SILTE MÉDIO, E SF - SILTE FINO.	41
FIGURA 9 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE GRAU DE SELEÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO NA DESEMBOCADURA DO CEP. ONDE: MPS - MUITO POBREMENTE SELECIONADO; PS - POBREMENTE SELECIONADO; MS - MODERADAMENTE SELECIONADO; BS - BEM-SELECIONADO, E MBS - MUITO BEM-SELECIONADO.....	42
FIGURA 10 – CONFIGURAÇÃO DA DESEMBOCADURA SUL DO CEP, CONTENDO FEIÇÕES DO DELTA DE MARÉ VAZANTE.....	44
FIGURA 11 – MAPA DO POLÍGONO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTENDO AS ISÓBATAS, CANAL DA GALHETA E TOPONÍMIAS.....	46
FIGURA 12 – ORGONOGRAMA DAS ETAPAS E OBJETIVOS DO PÓS-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO SONAR DE VARREDURA LATERAL.	48

FIGURA 13 – EXEMPLO DE PADRÃO SONOGRÁFICO, SENDO A) TEXTURAS E CORES DAS CAVAS E DAS CRISTAS, DIFERENÇA DE SEDIMENTOS E PROFUNDIDADES, NA REGIÃO DO CANAL DA COTINGA; B) SUBSTRATO ROCHOSO E RUÍDOS, PRÓXIMO A ILHA DA GALHETA.....	49
FIGURA 14 – MAPA DAS LINHAS BATIMÉTRICAS DISTRIBUÍDAS NA ÁREA DE ESTUDO	51
FIGURA 15 – MODELO DE SOBREPOSIÇÃO DOS SONOGRAMAS (A) PARA O DESENHOS DOS CONTORNOS DAS ONDAS DE AREIA E DUNAS SUBAQUOSAS (B).....	52
FIGURA 16 – MODELO DE TAMANHO E DISTÂNCIA DA CRISTA.....	53
FIGURA 17 – MAPA BATIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO.	55
FIGURA 18 – MAPA DAS ISÓBATAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	56
FIGURA 19 – MOSAICO DAS LINHAS DO LEVANTAMENTO SONOGRÁFICO DA PRIMEIRA (C1) E SEGUNDA CAMPANHA (C2).....	57
FIGURA 20 – TRECHO DO CANAL DA COTINGA TENDO A DIFERENÇA ENTRE IMAGENS SEM FALHAS NA AQUISIÇÃO(C1) E COM FALHAS (C2).	58
FIGURA 21 - PADRÕES SONOGRÁFICOS PARA DUNAS SUBAQUOSAS, ONDAS DE AREIA E SUBSTRATO ROCHOSO.	59
FIGURA 22 – PADRÕES DE ONDAS DE AREIA EM FRENTE AO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL.....	60
FIGURA 23 – PADRÕES DE ONDAS DE AREIA NA REGIÃO DO SACO DO LIMOEIRO.....	61
FIGURA 24 – PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES DE FUNDO.....	62
FIGURA 25 – AUMENTO DAS DUNAS SUBAQUOSAS NAS DIFERENTES CAMPANHAS, NA PONTA DO POÇO (A E B) E NO CONTORNO OESTE DO SACO DO LIMOEIRO (C E D).....	63
FIGURA 26 – PADRÕES DAS FORMAS DAS CRISTAS ENTRE SINUOSAS, CUSPIDADAS, LINGUÓIDES E IRREGULARES. BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.....	64
FIGURA 27 – TRANSIÇÃO ENTRE DUNAS COM CRISTAS CUSPIDADAS (À ESQUERDA) PARA CRISTAS SINUOSAS (À DIREITA).	65
FIGURA 28 – DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS A BATIMETRIA.	66

FIGURA 29 – RECORTES DA DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS A BATIMETRIA E ISÓBATAS. SENDO A) CANAL DA COTINGA; B) PONTA DO POÇO E ILHA DO MEL; C) PONTAL DO SUL E ILHA DO MEL; D) SACO DO LIMOEIRO.	68
FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA SUL DO CEP, DESCRITOS POR LAMOUR (2007).	69
FIGURA 31 – RECORTES DA DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA CEP, DESCRITOS POR LAMOUR (2007). SENDO A) CANAL DA COTINGA; B) PONTA DO POÇO E ILHA DO MEL; C) PONTAL DO SUL E ILHA DO MEL; D) SACO DO LIMOEIRO.	71
FIGURA 32 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DAS CRITAS SOBREPOSTAS A BATIMETRIA, NA PRIMEIRA CAMPANHA (C1), BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.	72
FIGURA 33 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DAS CRITAS SOBREPOSTAS A BATIMETRIA, NA SEGUNDA CAMPANHA (C2), BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.	73
FIGURA 34 – DISTRIBUIÇÃO DOS TAMANHOS DOS COMPRIMENTOS DAS CRISTAS DAS FEIÇÕES, SOBREPOSTAS AS ISÓBATAS, BASEADA NOS TAMANHOS PROPOSTOS POR ASHLEY (1990).	74
FIGURA 35 – DISTRIBUIÇÃO DOS TAMANHOS DOS COMPRIMENTOS DAS CRISTAS DAS FEIÇÕES, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA SUL, BASEADA NOS TAMANHOS PROPOSTOS POR ASHLEY (1990).	75
FIGURA 36 – DESLOCAMENTO EM METROS DAS DUNAS SUBAQUOSAS NAS DIFERENTES CAMPANHAS, NA PONTA DO POÇO (A E B) E EM FRENTE A PONTA DO QUARAGUATÁ (C E D).	76
FIGURA 37 – LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS ESCOLHIDAS PARA ANÁLISE DETALHADA DAS FEIÇÕES DE FUNDO.	77

FIGURA 38 – POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DA PONTA DO POÇO, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA E DUNAS SUBAQUOSAS.....	78
FIGURA 39 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO EM FRENTE AO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA E DUNAS SUBAQUOSAS.	79
FIGURA 40 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DO SACO DO LIMOEIRO, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA.	80
FIGURA 41 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DA PONTA DO CARAGUATÁ, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE DUNAS SUBAQUOSAS.....	81
FIGURA 42 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DO CANAL DA GALHETA, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE DUNAS SUBAQUOSAS.....	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –CLASSIFICAÇÃO DESCRITIVA DAS FORMAS DE LEITO.	32
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO (%) DO DIÂMETRO MÉDIO NA DESEMBOCADURA DO CEP.....	41
TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO (%) DO GRAU DE SELEÇÃO GRANULOMÉTRICA NA DESEMBOCADURA DO CEP.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 ESTUÁRIOS.....	19
2.2 FEIÇÕES DE FUNDO	27
2.3 SONOGRAFIA	32
3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.1 LOCALIZAÇÃO	34
3.2 PARÂMETROS FÍSICOS	37
3.2.1 Clima	37
3.2.2 Circulação e Marés	38
3.2.3 Ondas.....	39
3.3 SEDIMENTOS DE FUNDO	40
3.4 GEOMORFOLOGIA DE FUNDO	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1 ANÁLISE DIGITAL DE DADOS.....	47
4.1.1 Dados de sonografia	47
4.1.2 Dados de batimetria	50
4.2 ELABORAÇÃO DOS MAPAS E IMAGENS GEORREFERENCIADAS.....	51
5 RESULTADOS	54
5.1 BATIMETRIA.....	54
5.2 SONOGRAMAS	56
5.2.1 Mosaicos sonográficos	56
5.2.2 Padrões sonográficos das feições de fundo.....	58
5.3 DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES.....	66
5.3.1 Distribuição geral das feições comparadas à batimetria	66
5.3.2 Distribuição geral das feições comparadas aos sedimentos de fundo	68
5.3.3 Distribuição das classificações das cristas das feições.....	71
5.3.4 Distribuição dos tamanhos de comprimentos de cristas das feições	73

5.4 DESLOCAMENTO DAS FEIÇÕES	75
5.5 ANÁLISE DAS ÁREAS ESPECÍFICAS	76
5.5.1 Ponta do Poço	77
5.5.2 Pontal do Sul	78
5.5.3 Saco do Limoeiro	79
5.5.4 Ponta do Caraguatá	80
5.5.5 Canal da Galheta	81
6 DISCUSSÕES.....	83
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88

1 INTRODUÇÃO

O Período Quaternário caracteriza-se pela importância nas oscilações paleoclimáticas, responsáveis por deixarem marcas evidentes na paisagem emersa e submersa. Além disso, a ordenação do registro quaternário mostra-se como um importante aliado nos estudos geomorfológicos, uma vez que os depósitos sedimentares não são limitados apenas à bacias sedimentares, mas distribuídos nas diversas formas do relevo, podendo contribuir significativamente na detecção das relações de gênese entre formas e depósitos sedimentares (MELO et al., 2018). Desta forma as feições formadas pelos processos de transporte sedimentar são evidências do comportamento dinâmico ao longo de períodos de tempo maiores que meros meses ou anos, mas sim, de décadas ou séculos.

As condições oceanográficas atreladas aos processos geológicos e as condições climáticas são as principais responsáveis pela construção e/ou destruição das diversas feições geomorfológicas, presentes nas diferentes escalas de espaço-tempo dos ambientes costeiros de sedimentação. Neste contexto as feições de fundo que se formam nas áreas rasas da plataforma continental são importantes indicadores do comportamento hidrodinâmico (direção e velocidade) e do transporte de sedimentos, não somente para a conservação ambiental, mas também para a sociedade em geral e para a economia. Os ambientes estuarinos figuram com destacada importância neste contexto, já que se apresentam como locais com os mais diversos usos.

Frequentemente estes ambientes estuarinos apresentam feições de fundo de pequeno porte, que são consideradas indicadores dos registros de transporte sedimentar durante as escalas de tempo curtas, em relação ao tempo geológico, o que leva à possíveis interpretações da hidrodinâmica local. Afinal, estas feições são o produto de diversos eventos oceanográficos de fluxo e refluxo nas correntes de maré, que se repetem em intervalos até formarem campos de dunas (DALRYMPLE; RHODES, 1995). No entanto, as feições de porte maior indicam os processos de transporte de sedimentos com uma abordagem mais ampla temporalmente, evidenciando a resultante de eventos energéticos extremos que se repetem uma vez por década ou até por século, assim como movimentos periódicos submareais.

As relações entre os processos de transporte sedimentar e as formas de leito foram estudadas por diversos autores (ZOMER et al., 2021; VAN DER MARK; BLOM, 2007; DODANGEH; AFZALIMEHR, 2022; ZHANG; WANG; SHEN, 2022; FENSTER; FITZGERALD, 1996; KENYON; BELDERSON, 1973; GUERRERO et al., 2021) em diferentes ambientes subaquáticos. Os principais resultados explicaram a migração de feições secundárias sob feições primárias; fizeram observações de velocidades orbitais próximas ao leito em relação às formas de fundo de pequena escala; analisaram o movimento incipiente das partículas de sedimentos na presença de formas de leito sob fluxos de desaceleração e aceleração fluvial e, sobre a migração de formas das leito de pequena escala e o transporte de sedimentos associado a praias de macromaré).

No Brasil, os estudos sobre as formas de leito e a dinâmica sedimentar foram descritas por diversos autores que desenvolveram trabalhos em diversos estuários ao longo da costa, (BELO; DIAS; DIAS, 2002; PAOLO; MAHIQUES, 2008; VERONEZ JÚNIOR et al., 2009; MARTINS, 2010; CORDEIRO et al., 2011; MOREIRA et al., 2015). No Paraná, os trabalhos foram realizados na compreensão da dinâmica sedimentar (CATTANI; LAMOUR, 2016; NOVAK et al., 2016; LAMOUR et al., 2004; SOUZA; SOUZA; LAMOUR, 2012; RUTYNA et al., 2021), no entanto poucos trabalhos foram realizados para compreender as feições de leito e desembocadura dos estuários (CARMO et al., 2021; CRUZ; NOERNBERG, 2020; LAMOUR et al., 2007).

No geral os estuários são ambientes sedimentares de transição de extrema importância por razões ambientais, como a delimitação de unidades de conservação (UCs), principalmente por se tratar de um ambiente propício para a reprodução de diversas espécies marinhas e terrestres. São também um importante elo comercial para a economia mundial, uma vez que permitem o acesso de navios aos portos no mundo inteiro e garantem segurança a navegação, por serem ambientes de costa protegida. Todo este acesso depende muitas vezes de atividades de aprofundamento das vias de acesso por obras de dragagem, as quais apresentam alto custo ambiental e econômico. Neste sentido, maiores informações e conclusões sobre a dinâmica dos ambientes submersos, certamente subsidiam e otimizam as obras, o que tende a redução dos custos sobre a qualidade ambiental e social.

Com isso, investimentos nos estudos e aquisição de dados de longo prazo e de alta resolução se mostram necessários, principalmente no quesito de mapeamentos geomorfológicos destes ambientes, uma vez que o assoreamento ou alterações nas dinâmicas sedimentares destes ambientes, resulte na perda de áreas devido à possíveis processos dinâmicos anômalos tanto em áreas emersas quanto submersas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) se destaca entre os estuários do Brasil por apresentar uma desembocadura bifurcada. A divisão da desembocadura acontece em relação a posição geográfica da Ilha do Mel. A desembocadura ao Sul é um ambiente dinâmico, por estar exposto aos processos continentais e oceânicos, como as correntes de marés, correntes de deriva litorânea, transporte sedimentares, etc. Além dos processos naturais, esta desembocadura também conta com a influência das operações de dragagem, para a manutenção do canal navegável que permite acesso aos portos do Paraná, estas operações são grandes modificadoras das paisagens submersas. O CEP está cercado de UCs, como a APA Federal e APA Estadual de Guaraqueçaba, a Estação Ecológica e Parque Estadual da Ilha do Mel, o Parque Nacional de Superagui, a Estação Ecológica do Guaraguaçu, e muitas outras UCs que estão sujeitas as mudanças hidrodinâmicas e sedimentares que ocorrem ao longo do seu leito e margens.

As feições de fundo são ótimos indicadores das correntes de fundo e dinâmicas sedimentares que acontecem nas desembocaduras (KENYON, 1986). A caracterização das feições de fundo, presentes na desembocadura sul do CEP, permite uma percepção mais detalhada do comportamento dos sedimentos de fundo, através da distribuição, classificação e movimentos recorrentes das feições. Através destas percepções sobre as feições, pode-se associar as mudanças recorrentes nas paisagens submersas com as mudanças perceptíveis na linha de costa, como por exemplo, as erosões costeiras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi e compreendera a dinâmica sedimentar através da análise da paisagem de fundo na região de desembocadura do CEP.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar as feições de fundo na região da desembocadura do CEP;
- Estabelecer os principais padrões de circulação para a região, estabelecendo as principais relações geomorfológicas com a hidrodinâmica de curto prazo em termos oceanográficos (direções e intensidades de transporte).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTUÁRIOS

A transgressão marinha pode ser compreendida como o deslocamento da linha de costa em direção ao continente, quando o inverso ocorre define-se uma regressão (CATUNEANU, 2006). As transgressões e regressões que acompanharam os avanços e recuos glaciais ao longo do Período Quaternário, são as principais responsáveis pela configuração atual da plataforma continental (MOORE; CURRAY, 1964). No Brasil, a chamada Última Transgressão, ocorreu durante o Holoceno, data de cerca de 5.000 anos A.P. (antes do presente), e alcançou o máximo de 5,0 m acima do atual nível médio do mar (MARTIN et al., 1979; MARENT et al., 2013). A transgressão marinha no Holoceno marcou o início da formação da maioria dos estuários, que devido a última glaciação, datada há cerca de 18.000 anos A.P., fez com que o derreter do gelo aumentasse o nível do mar e preenchesse antigos vales fluviais, dando origem na formação da dinâmica e morfologia dos estuários (PERILLO, 1995; DYER, 1995; PRANDLE, 2009).

Os estuários são considerados ambientes de transição entre o oceano e o continente, atrelados a processos e forçantes oceanográficas, misturas entre água

doce e marinha e distribuição de materiais sedimentares de ambas as partes (PRANDLE, 2009). São uma das mais importantes feições costeiras ligadas aos processos em escala espaço-temporal da Terra (PERILLO, 1995). São consideradas feições efêmeras no tempo geológico, presentes em diversas partes do mundo e que possuem características específicas para cada local, devido às mudanças contínuas na geomorfologia e sedimentologia (PERILLO, 1995). São definidos como a porção distal de um vale afogado por uma transgressão, onde fácies marinhas e fluviais são espacialmente distribuídas por processos associados à vazão de rios, influência de correntes de maré e pela ação das ondas (DALRYMPLE; ZAITLIN; BOYD, 1992). Podem ser considerados como a evidência da submersão rápida ou da elevação do nível relativo do mar, de cujo efeito ainda não se recuperaram até os dias atuais (SUGUIO, 2003). Devido a suas características fisiográficas, são ambientes de importância comercial que facilitam o contato entre o continente e a costa, através da presença de portos e terminais portuários, municípios costeiros, polos industriais, marinas, entre outros, por serem ambientes costeiros protegidos das dinâmicas fluviais do mar aberto (LAMOUR; SOARES; CARRILHO, 2004).

São estruturados por três principais forçantes: a descarga de água doce dos rios, a intensidade da energia de marés e a intensidade da energia das ondas (ventos) (DUARTE; VIEIRA, 1997). O atrelamento dessas forçantes torna os estuários responsáveis pelo equilíbrio de fatores físico-químicos e biológicos, entre a bacia hidrográfica e a zona costeira. Além disso, possuem uma importância considerável na história da humanidade através da ocupação e desenvolvimento das civilizações em zonas costeiras ao redor do mundo (DA SILVA, 2000). Comportando a principal via de atividades portuárias, pesqueiras, industriais, turísticas e residenciais.

As primeiras traduções populares de estuário estavam relacionadas à origem da palavra derivada do latim *aestuarium*, que significa “dependente de maré”, ou “espaço de terra entre a preamar e a baixamar”. Com o avanço da ciência e o aumento do interesse pelos estuários na década de 1950, uma série de artigos foram publicados na temática (PRITCHARD, 1952; STOMMEL, 1953; STOMMEL; FARMER, 1953). Assim, novas definições surgiram, como a clássica de PRITCHARD (1952) que define os estuários como corpos de água, nos quais deságuam os rios, e formam um grupo de reentrâncias costeiras formadas pelo

afogamento de um antigo vale fluvial, seja pela subsidência da terra ou pela elevação do nível do mar. Posteriormente, a definição foi acrescida de que ocorre uma diluição da água marinha, causada pelo aporte fluvial das desembocaduras dos rios (CAMERON; PRITCHARD, 1963). Atualmente, a definição geológica, embasada em aspectos de sedimentação estuarina, mais aceita de estuários é a que considera como a porção distal do vale afogado por uma transgressão onde fácies marinhas e fluviais são espacialmente distribuídas por processos associados à vazão dos rios, às correntes de maré e às ondas (DALRYMPLE; ZAITLIN; BOYD, 1992).

Em relação à classificação, os estuários não são classificados de acordo com apenas uma forçante atuante, uma vez que mesmo que seja a principal, ela não será a única a estar influenciando na dinâmica estuarina. Portanto cada estuário possui características específicas e suas variações são relativas às condições do ambiente em que estão inseridos (DA SILVA, 2000). Sendo assim, muitos autores classificam os estuários de acordo com as semelhanças na morfologia e hidrologia entre eles (CUNHA, 1971, ZAPATA; FONSECA, 1979; ASENSIO; GRAJAL, 1981; FLOR BLANCO, 1993; MELO et al., 2003), embora, PERILLO (1995) destaque a importância de considerar os parâmetros químicos e biológicos na classificação.

Quanto à classificação geomorfológica, a definição de PRITCHARD (1952) sobre um grupo de reentrâncias costeiras formadas pelo afogamento de um antigo vale fluvial ainda é considerada uma boa abordagem preliminar para o entendimento da estrutura geral dos estuários. Posteriormente, FAIRBRIDGE (1980) complementa a classificação fisiográfica, identificando oito tipos: fiorde, ria, planície costeira, delta estuarino, construído por barra, delta, laguna costeira e tectônico. Denominações como baías, lagos costeiros e rios em seus trechos finais também caracterizam ambientes estuarinos (KJERFVE; MAGILL, 1989).

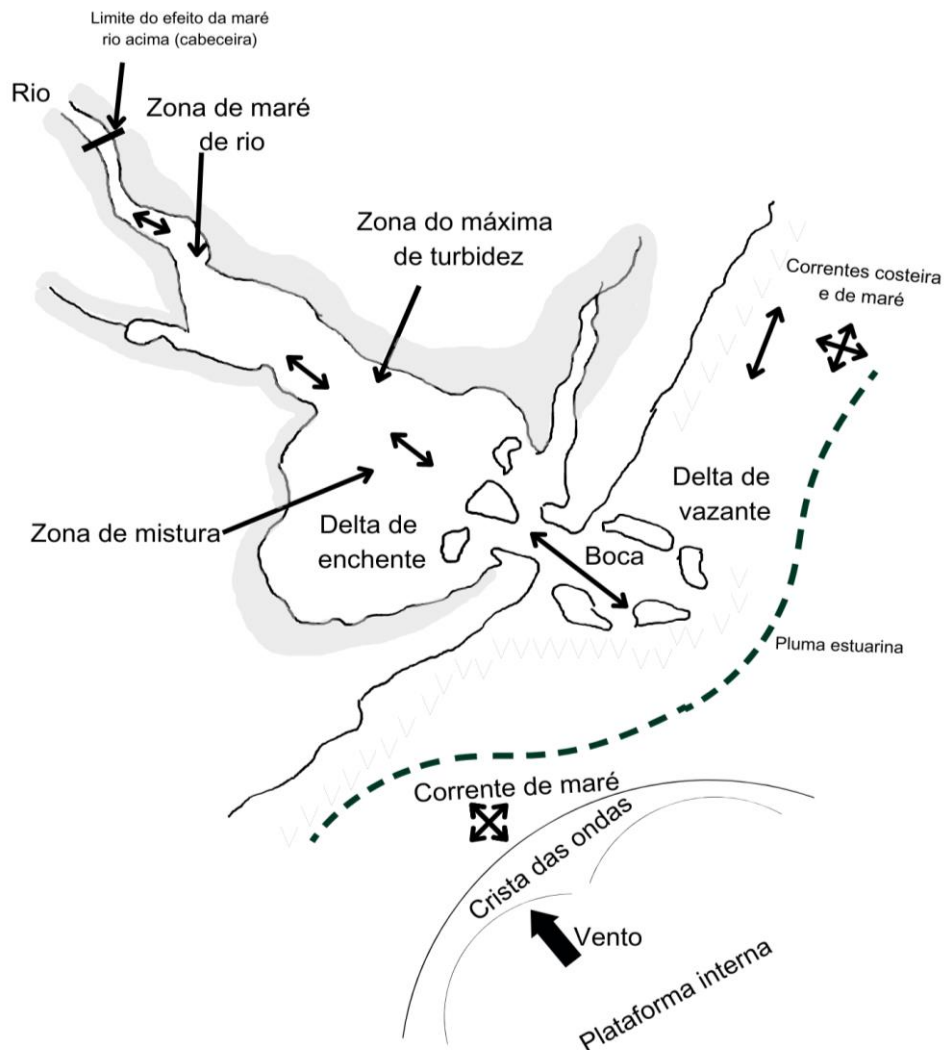
De forma geral, os estuários apresentam variações significativas dos principais processos oceanográficos atuantes e, na maior parte dos casos, é possível identificar as três regiões/setores distintos classificadas por Dionne (1963, *apud* PERILLO, 1995), sendo a) Fluvial ou alto estuário, onde não há presença de água marinha, observando-se apenas os efeitos das marés; b) Médio estuário, onde ocorre a interação intensa de águas oceânicas e continental; e c) Marinho ou baixo

estuário, que possui uma conexão livre com o mar e tem predominância de processos oceânicos.

Segundo Pritchard (1955), a distribuição da salinidade é considerada um dos principais fatores na classificação hidrodinâmica do estuário, uma vez que a quantidade de sais presentes na água irá alterar a densidade do fluido e, conseqüentemente, toda a dinâmica geomorfológica e sedimentar daquele meio. O mesmo autor faz uma classificação de acordo com a estratificação da salinidade, sendo eles: cunha salina (tipo A), moderadamente ou parcialmente misturado (tipo B), verticalmente bem misturado e lateralmente estratificado (tipo C) e bem misturado (tipo D). Apesar da distribuição da salinidade e a morfologia serem parâmetros importantes na classificação dos estuários, alguns outros fatores como a gênese geológica e as condições regionais atuantes, também são de suma importância para a compreensão destes ambientes costeiros, como destacado por Kjerfve (1987, *apud* (MIRANDA; CASTRO FILHO; KJERFVE, 2002).

Com isso, o mesmo autor classifica-os considerando três diferentes zonas (FIGURA 1), sendo a) Zona de Maré do Rio, salinidade muito baixa, mas ainda sujeita a ação da maré resultando em movimento bidirecional; b) Zona de mistura, ocorre a mistura entre a água oceânica e continental, acentuada variação vertical e longitudinal da salinidade e das velocidades de correntes é também onde ocorre a Zona de Máxima Turbidez (ZMT); e c) Zona Costeira, região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina, é neste local que o regime de marés e de ondas condiciona a circulação do sistema estuarino, pois desenvolvem padrões de correntes longitudinais e transversais à desembocadura do estuário.

FIGURA 1 – MODELO GEOMORFOLÓGICO DE UM ESTUÁRIO HIPOTÉTICO, MOSTRANDO AS ZONAS DO ESTUÁRIO, INFLUÊNCIA DAS CORRENTES E DELTAS DE MARÉS.



FONTE: Miranda, Castro & Kjerfve (2002), modificada pela autora (2023).

A combinação de fatores como o clima, o tipo de costa, a litologia costeira, o intervalo de marés, a estabilidade costeira, o neotectonismo, carga sedimentar, a descarga fluvial, as forçantes oceanográficas (ondas, correntes litorâneas, correntes de maré, etc) e a influência da atmosfera (vento, temperatura, humidade etc), produzirão tipos característicos de estuários que, por si só, possuem padrões de circulação particulares (PERILLO, 1995).

A circulação do estuário é essencial para a compreensão da dinâmica atuante, logo as respostas das forçantes definem os parâmetros da circulação de curto e longo prazo, tais como a) Dominados por marés: as respostas em curto prazo são os fluxos de vazantes e enchentes, a subida e a descida do nível da água

do mar, e o cisalhamento e mistura. Enquanto as respostas de longo prazo são circulação residual mistura (homogeneização de concentrações) e dispersão de sal; b) Dominados por ventos: com respostas de curto prazo estando relacionadas às ondas, à deriva superficial, à turbulência e à mistura e à formação de seiches. Já os de longo prazo estão relacionados com o estabelecimento de fluxos e com os gradientes da superfície líquida (*set-up* e *down*); e c) Dominados pela descarga fluvial: as respostas de curto prazo possuem fraco fluxo-unidirecional, formação de gradientes de densidade (estratificação), influxo de sedimentos e limitante de dispersão de sal. Já as respostas de longo prazo estão relacionadas com a circulação gravitacional, distribuição de sal que determina o limite montante da zona de mistura.

A circulação também influenciará na forma em que os sedimentos, que chegam pelo aporte fluvial, serão depositados e distribuídos. Esses sedimentos são uma mistura complexa de tamanhos e composições das fontes primárias. Alguns padrões de deposição sedimentar podem ser observados nos modelos de estuários dominados por marés e ondas de BOYD; DALRYMPLE; ZAITLIN (1992), onde os sedimentos fluviais são depositados principalmente nas porções superior e central do estuário. Uma vez que o transporte líquido de carga de fundo para o mar é conduzido, principalmente, pela forma do leito e tendências de tamanhos de grão (FENSTER; FITZGERALD, 1996). Em estuários dominados pela maré, a lama é depositada na foz, devido à diminuição das correntes fluviais à jusante, em conjunto com a floculação de argilas produzidas pela mistura de água doce e salgada na ZMT. Assim como a areia é movida ao redor e sobre as barras de maré por correntes de maré em canais mutuamente evasivos (FITZGERALD et al., 2000).

O tamanho dos grãos disponíveis na bacia irá classificar como ocorre o fluxo nos diferentes modos de transporte para materiais mais finos e mais grossos. Três tipos principais de transporte de sedimentos são descritos por DYER (1995), sendo eles: a) carga de lavagem (*washload*), relacionado a fração mais fina dos sedimentos, movimenta-se em todas as velocidades de corrente e para a sua deposição é necessária um conjunto de agregações de partículas; b) suspensão (*suspension*), é o movimento dos sedimentos que foram erodidos do fundo, devido à troca de momentum entre as correntes de fundo e os sedimentos por causa da turbulência, o movimento será dependente da granulometria do sedimento erodido;

e, c) carga de fundo (*bedload*), está relacionado com o movimento horizontal sobre o fundo, as areias são movimentadas por transporte de arrasto ou rolamento, enquanto os sedimentos mais finos são transportados como lama fluída, originária da deposição de sedimentos finos na ZMT.

Quando depositados, os sedimentos podem ser novamente re-suspensos e transportados pelos fluxos fluviais, pelas correntes de maré e circulação estuarina, passando por novos ciclos de deposição e erosão (ROSSETTI, 2008). A hidrodinâmica dos estuários tem um papel importante no aprisionamento de partículas e distribuição dos sedimentos, principalmente pelas correntes de maré, capaz de produzir uma diversidade de estruturas sedimentares, muitas vezes indicada pela direção da maré predominante.

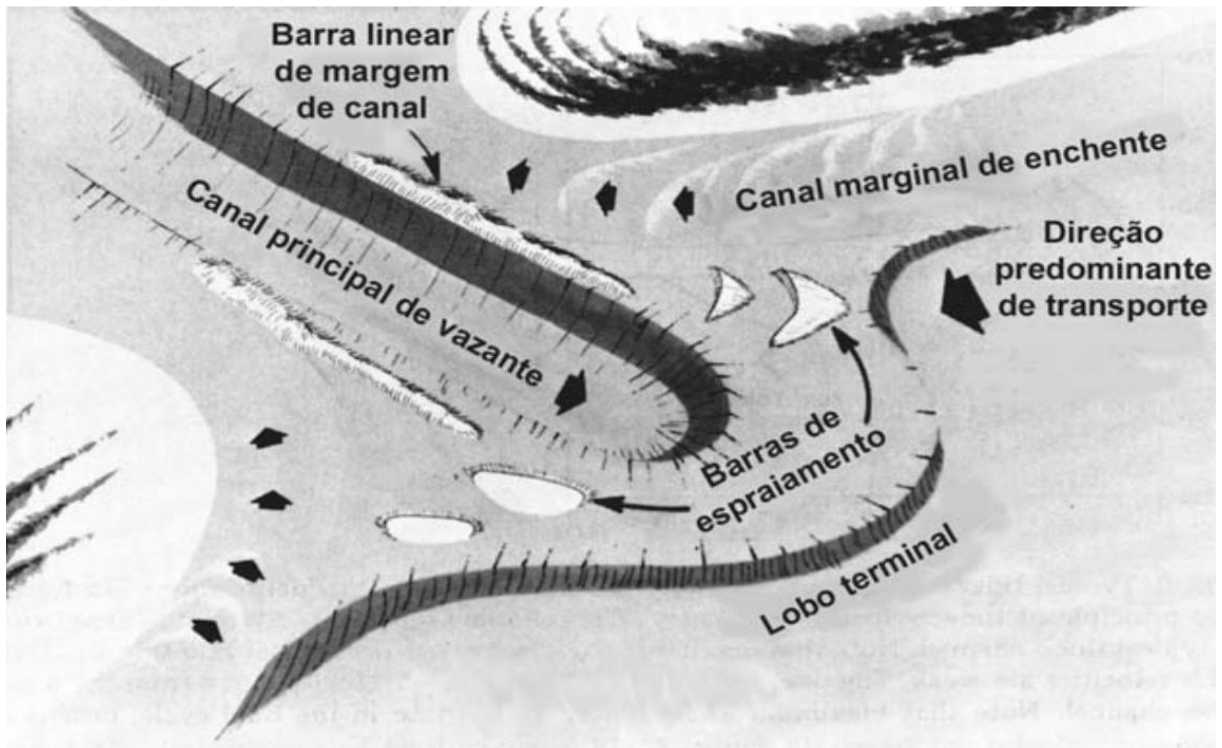
Estuários localizados em áreas costeiras com influência elevada de ondas possuem sedimentos predominantemente oriundos do retrabalhamento ao longo da costa (ROSSETTI, 2008). Grande parte desses sedimentos ficam concentrados na desembocadura, resultando na formação das ilhas-barreiras que servem como um anteparo da influência da energia das ondas e correntes de maré. A geometria afunilada dos estuários dominados por maré gera uma compressão progressiva da corrente de maré no sentido do interior do estuário, gerando uma velocidade de maré de enchente maior dentro do estuário. O resultado deste fluxo é o acúmulo de sedimentos na desembocadura, formando barras alongadas paralelamente à margem, que compõe o delta de maré (HAYES, 1980).

As desembocaduras dos estuários possuem uma dinâmica sedimentar complexa, quando comparadas com costas oceânicas e costas protegidas do interior do estuário (ANGULO; ARAÚJO, 1996). Estão expostas à influência das ondas, das correntes de deriva litorânea e também das correntes de maré, onde a morfologia das desembocaduras estarão atrelados a esses processos (ANGULO; ARAÚJO, 1996). Tornando-se um ambiente altamente dinâmico e efêmero. As desembocaduras podem ser estáveis, quando as condições de maré dominante contribuem para a remoção dos sedimentos depositados e mantem o canal principal mais fundo. E podem ser instáveis quando a influência das ondas causa a migração do canal principal no sentido a favor ou contrário da corrente de deriva litorânea (FRITZGERALD, 1988).

Além dos canais, as desembocaduras apresentam também os deltas de maré na sua morfologia de fundo. Os deltas de marés estão associados aos regimes de micromaré (<2 m) e mesomaré (2 a 4 m) e podem ser classificadas pela direção da maré, onde os deltas de maré vazante são aqueles direcionados oceano afora e os deltas de maré enchente são os direcionados estuário adentro (HAYES, 1975, *apud* ANGULO, 1999). Os processos costeiros predominantes determinam se os deltas serão mais ou menos desenvolvidos. Em desembocaduras onde a maré é predominante e varia entre 2 a 4 m, o delta de maré vazante será bem mais desenvolvido e o delta de maré enchente será menos desenvolvido ou inexistente. Enquanto as desembocaduras dominadas por ondas ou com regimes de maré inferior a 2 m, os deltas de maré vazante terão seus sedimentos erodidos e distribuídos estuário adentro, contribuindo para o maior desenvolvimento dos deltas de maré enchente (HAYES, 1975, *apud* ANGULO, 1999).

A composição morfológica de um delta de maré vazante (FIGURA 2) acontece pela presença de um canal principal de vazante; por barras lineares marginais ao canal principal da vazante; de um lobo terminal, localizado na extremidade do canal principal e com bordas direcionadas para o oceano; por uma plataforma de espraiamento; por barras de espraiamento isoladas; e, pelos canais marginais de enchente (HAYES, 1980).

FIGURA 2 - MODELO MORFOLÓGICO DE DELTA DE MARÉ VAZANTE EM COSTAS COM REGIMES DE MESOMARÉ, SOB INFLUÊNCIA DE ONDAS E CORRENTES DE DERIVA LONGITUDINAL E DE MARÉ.



FONTE: HAYES (1980), modificado por LAMOUR (2007).

2.2 FEIÇÕES DE FUNDO

Muitos dos processos sedimentares nos ambientes submersos estão relacionados com a dinâmica do leito e a interação com os fluxos e as propriedades dos sedimentos de fundo. As feições de fundo são formadas quando uma corrente que está fluindo sobre os sedimentos excede a tensão de cisalhamento crítica para o movimento (DELLINO et al., 2021), o resultado da interação entre os sedimentos e o fluido geram as mais diversas formas de leito que encontramos nos ambientes com condições ideais para essas formações.

A natureza das fácies sedimentares em um estuário varia com a quantidade de sedimentos disponíveis, com a interação dos processos hidrodinâmicos e com a morfologia do fundo (SILVA et al., 2004). São condicionadas tanto pelos processos marinhos quanto fluviais, podendo ser encontradas de forma diversa em relação ao seu tipo e dimensão. Em ambientes costeiros, as correntes de maré são os principais agentes na configuração dessas fácies uma vez que ocorre a aceleração e

desaceleração das partículas durante os ciclos de enchente e vazante em trechos distintos de um mesmo estuário.

Quando as velocidades de escoamento da maré excedem sensivelmente a velocidade crítica de movimento da areia, grandes volumes de sedimento são erodidos e acrescidos pelas sucessivas marés enchente e vazante as quais causam oscilações na crista das fácies (LANGHORNE, 1982). A variabilidade espaço-temporal do escoamento e transporte sedimentar, juntamente com as variações do nível da água, geram uma gama de variedade na morfologia de formas de fundo (ASHLEY, 1990).

Os processos hidrodinâmicos, como a velocidade do fluxo e a profundidade, em conjunto com as propriedades físicas dos sedimentos, como a densidade, a granulometria e a forma do grão, resultam em formações de feições sedimentares (SILVA et al., 2004). A forma, orientação, assimetria e migração dessas feições são utilizadas como base de informação para compreender a dinâmica sedimentar e orientação do transporte de fundo em ambientes estuarinos e costeiros (QUARESMA; DIAS; BAPTISTA NETO, 2000), sendo considerados vestígios de registros sedimentares de curta e longa escala temporal. As formas de leito em grande escala espacial são onipresentes em ambientes arenosos modernos, compostos por sedimentos de granulometria superior a 0,15 mm (areia muito fina), onde a profundidade é maior que cerca de 1 m e as velocidades médias das correntes são maiores que cerca de 0,4 m.s⁻¹ (ASHLEY, 1990; DALRYMPLE; RHODES, 1995). Essas características hidrodinâmicas e sedimentares são comumente encontradas em rios, ambientes marinhos rasos e ambientes costeiros dominados por marés, tornando-os ambientes propícios para a formação destas feições (PAOLO; MAHIQUES, 2008).

As feições podem ser formadas pela ação das ondas (*wave ripples*) ou correntes (*current ripples*). As formadas pelas ondas estão associadas a sedimentos de granulometria entre siltes e areias grossas, encontradas principalmente em forma simétrica, e raramente de forma assimétrica, apenas quando o movimento das ondas possui intensidades diferentes (TUCKER, 2003). Já as formadas por correntes estão associadas a fluxos unidirecionais, com perfil assimétrico e possuindo um lado com escarpa íngreme à jusante (*lee-side*) e escarpa suave à

montante (*stoss-side*). As formas das cristas são alteradas de acordo com o aumento da velocidade da corrente. Enquanto as feições produzidas pelas correntes de maré apresentam a direção da maré dominante, por meio de uma corrente unidirecional, ou por correntes conjuntas de marés, formando a estratificação cruzada espinha de peixe (TUCKER, 1991).

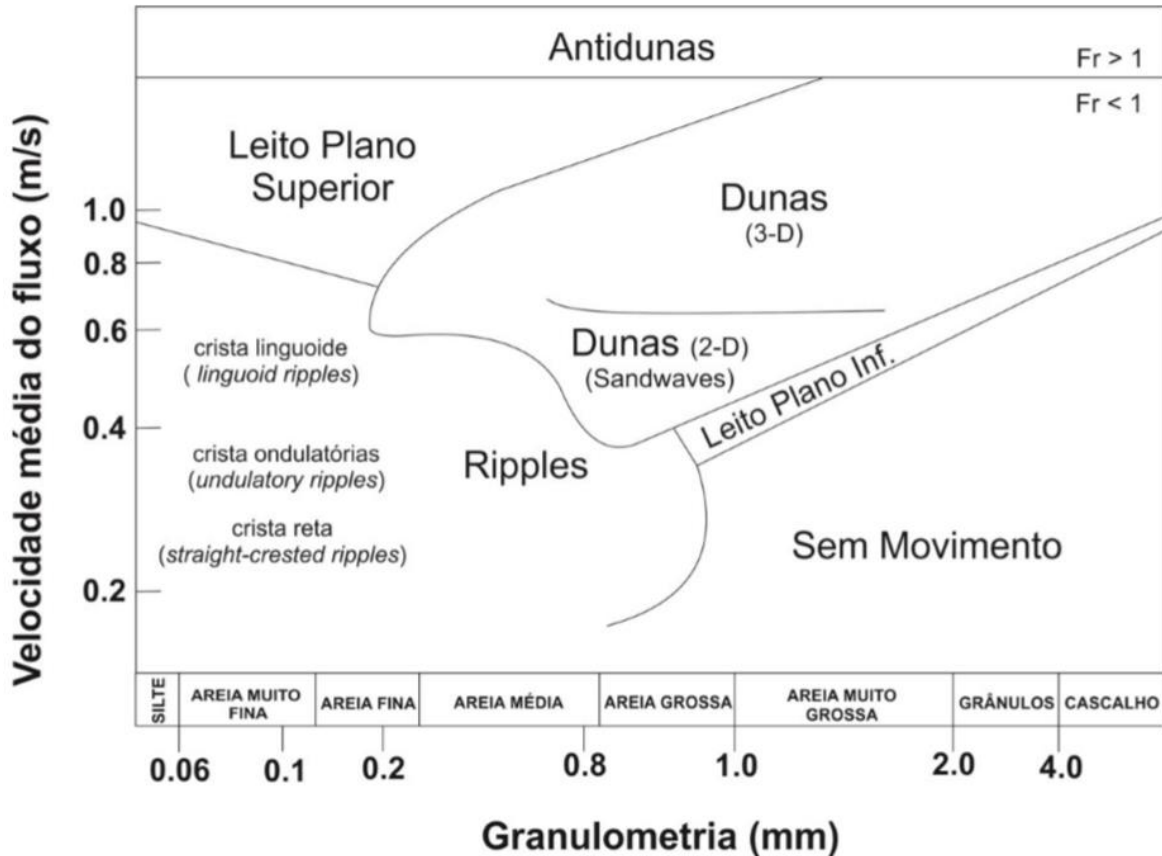
Com o objetivo de caracterizar feições sedimentares e morfológicas em ambientes costeiros, muitos estudos buscaram conhecer a hidrodinâmica, transporte e variação geomorfológica de fundo em diferentes escalas de tempo e espaço (GABRIEL PENDÓN et al., 1998; FERNÁNDEZ; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, 1991; BELO; DIAS; DIAS, 2002; BARALDO, 2018; BIONDO DA COSTA et al., 2019; CRUZ; NOERNBERG, 2020). Tendo como destaque, entre os primeiros trabalhos publicados, o de Dalrymple; Knight e Lambiase (1978) com o estudo sobre as formas de leito em um ambiente de maré, que classificam cinco tipos de feições de fundo em relação à escala espacial. Definida através da razão entre o comprimento (L) e a altura (H), denominada de índice da forma vertical, podendo ser subdivididas de acordo do tamanho que apresentam. A seguinte classificação é feita pelos autores: ondulações (*ripples*) nas feições de pequena escala; as mega-ondulações (*megaripples*) do tipo 1 e 2 em escalas intermediárias; e as ondulações (*rippled sandwaves*) mega-ondulações de ondas de areia (*megarippled sandwaves*) como feições de grande escala.

Dalrymple e Rhodes (1995), contribuíram de forma significativa para a compreensão do comportamento das feições de fundo quando definiram que o formato e inclinação das dunas subaquosas dependem de fatores como a) força relativa das correntes dominantes e subordinadas; b) a taxa de transporte de sedimento; c) a orientação da duna; a presença ou ausência de dunas sobrepostas; e, d) o comportamento da duna num ciclo de maré.

A denominação das feições de fundo também foi proposta por ASHLEY (1990), em um trabalho de destaque que relacionando a velocidade média do fluxo e da granulometria dos sedimentos (FIGURA 3), compartimentado em razão do número de Froude (razão entre forças inerciais e forças de gravidade). Os sedimentos controlados por ondas, ventos e correntes de maré podem ser diferenciados por desenvolverem estruturas específicas. Tucker (2001), classifica as

feições de fundo regidas por fluxos unidirecionais como *ripples* assimétricas, estando associadas aos rios, correntes de maré e tempestades. Já as feições regidas pelas ondas são categorizadas como de perfil simétrico.

FIGURA 3 – FORMAÇÃO DAS FORMAS DE LEITO PELA VELOCIDADE MÉDIA DO FLUXO E GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO.

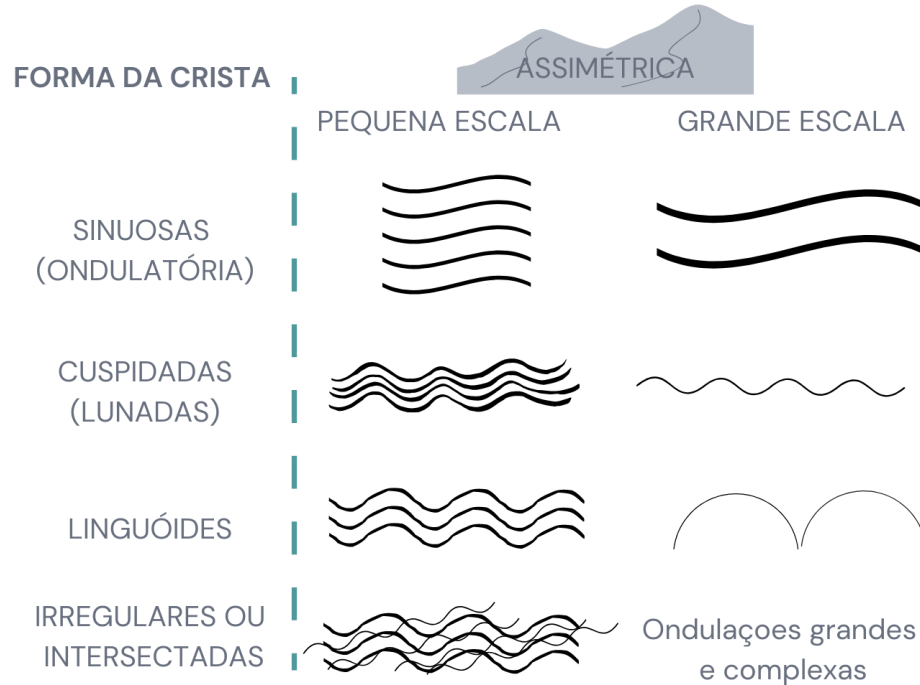


FONTE: Modificado ASHLEY (1990)

Para simplificar a classificação das formas de fundo Fritz e Moore (1988) propuseram um novo padrão de classificação. Consiste na identificação de ondulações de pequeno porte para ondulações com espaçamentos menores que 60 cm e alturas menores que 5 cm, e as formas com espaçamento e altura maiores classificadas como ondulações de grande porte. As cristas, nesta classificação, são utilizadas para identificar as denominações propostas, podendo ser simétricas ou assimétricas, com cristas retilíneas, sinuosas, cuspidadas, lunadas, linguóides e romboidais. O termo duna (*dune*) é restrito a ondulações grandes lunadas ou linguóides assimétricas, com altura de vários decímetros e espaçamento de alguns metros ou mais e o termo onda de areia (*sandwave*) é usado para grandes

ondulações, com crista retilínea com altura em metros e comprimento de ondas de dezenas de metros ou mais (FRITZ; MOORE, 1988) (FIGURA 4).

FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DE MARCAS ONDULADAS PELA FORMA DA CRISTA.



FONTE: FRITZ; MOORE (1988), modificado pela autora (2023).

A classificação de Ashley (1990) consiste na divisão das dunas em dois grupos de acordo com sua estrutura sedimentar, considerando uma mesma granulometria, o tamanho e a forma das feições associados aos processos hidrodinâmicos que as geraram, sendo eles 1) bidimensionais (2D), ocorrem em correntes de baixa velocidade de escoamento e cujas superfícies de estratificação são planas; e 2) tridimensionais (3D), relacionadas a altas velocidades e formam superfícies com *scour* ou calhas. As descrições das feições são estabelecidas em uma hierarquia de acordo com a sua importância, sendo: a) de primeira ordem: comprimento de onda, altura e dimensionalidade (2D ou 3D); b) de segunda ordem: tamanho e orientação das feições superpostas, tipo e granulometria do sedimento constituinte e; c) de terceira ordem: o ângulo das faces e simetria do perfil, características do trem de ondas, área do leito coberta pela feição e evolução temporal.

O mesmo autor também propõe uma classificação descritiva (TABELA 1) utilizando o tamanho das feições em pequeno, médio, grande e muito grande para uma melhor distinção das formas propostas por Fritz & Moore (1988).

TABELA 1 –CLASSIFICAÇÃO DESCRITIVA DAS FORMAS DE LEITO.

Tamanho	Característica	Pequena	Média	Grande	Muito grande
	Espaçamento (m)	0,6 – 5	5- 10	10 – 100	>100
Altura (m)	0,05 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 3	>3	
Forma	Bidimensional – crista relativamente bem marcada, faltando fosso de varredura*. Tridimensional – de sinuosa à meia lua, com fosso de varredura*.				

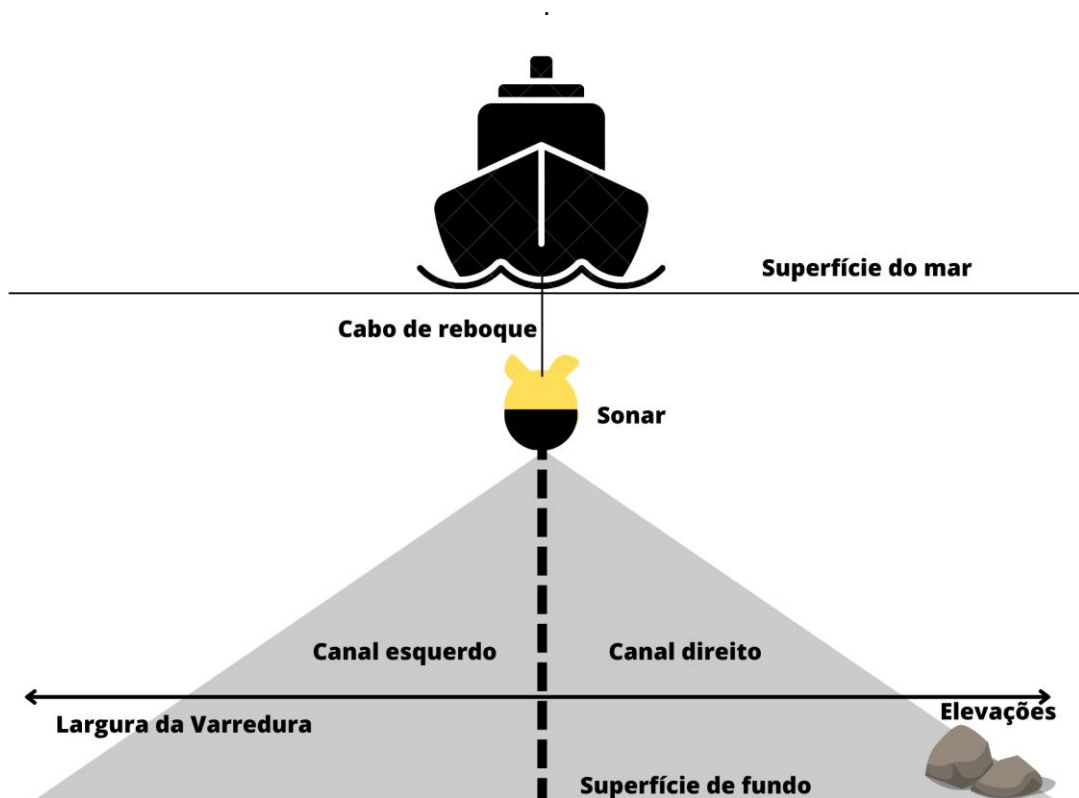
*Depressões criadas pela sinuosidade da crista, intercaladas longitudinalmente, a qual fica unida à cava da feição de fundo

FONTE: ASHLEY (1990), modificado por LAMOUR (2007).

2.3 SONOGRAFIA

A sonografia é o nome dado ao método que utiliza os sistemas de sonares de varredura lateral (Side Scan Sonar) para mapear o assoalho de ambientes submersos. A técnica, baseada em reflexão, refração e espalhamento de ondas acústicas, consiste na emissão de feixes acústicos por transdutores (emissores e receptores) acoplados no *towfish* (estrutura do sonar, popularmente conhecido como “peixe”) rebocado na embarcação (FIGURA 4) e com ambos os lados direcionados para a superfície de fundo em relação ao rumo da navegação (DE SOUZA et al., 2009). Os pulsos sonoros que encontram o fundo refletem as estruturas encontradas em diferentes formatos de ecos, que são captados pelos transdutores e produzem uma imagem acústica do fundo do mar, semelhante a uma fotografia aérea (NETO, 2000).

FIGURA 5 – MODELO DO SISTEMA DO SONAR DE VARREDURA LATERAL (SVL).



FONTE: Adaptado de DE SOUZA et al. (2009).

Os equipamentos emitem frequências de ondas diferentes de acordo com a distância do fundo, podendo ser divididos em dois grupos, o primeiro é rebocado próximo a superfície do mar e é chamado de *shallow-tow*, opera em uma frequência mais baixa (6 a 12 kHz) e é utilizado para o mapeamento de grandes feições de fundo, uma vez que possuem a capacidade de sondar áreas de até 20 km² em um único dia, devido a sua faixa lateral de 30 km (NETO, 2000). Enquanto o segundo é rebocado próximo ao fundo e é chamado de *deep-tow*, operam em um intervalo de maior frequência (100 a 500 kHz) e possuem uma capacidade máxima de varredura de 2 Km, sendo mil metros para cada lado do equipamento, são utilizados para estudos em que a resolução maior seja necessária (NETO, 2000).

A velocidade média em que as ondas acústicas percorrem a coluna da água é de 1500 m.s⁻¹, mas podem variar de acordo com as condições da água (temperatura, salinidade, oxigenação e presença de materiais em suspensão). E, quando chegam ao fundo, encontram tipos específicos de terreno com diferenças no tamanho do grão dos sedimentos, a porosidade, a densidade etc. O fenômeno de retroespalhamento ou *backscatter*, ocorre na interação da onda acústica com o

fundo marinho, resultando nas informações sobre as características específicas texturais do terreno (BROWN; BLONDEL, 2009). De forma geral, quanto maior for a granulometria dos sedimentos (sedimentos grossos), maior será a quantidade de energia refletida; e quanto menor for a granulometria (sedimentos finos), menor será a energia refletida, uma vez que os sedimentos finos absorvem boa parte da energia. Quando a energia é absorvida, ocorre o fenômeno de refração, e o que não é absorvido pela subsuperfície volta para os transdutores, fornecendo informações sobre espessura e tipo de material presente na região.

A investigação acústica em ambientes submersos está presente em diferentes tipos de estudo, como no monitoramento de corais de fundo (CAVALCANTI et al., 2017) na distribuição de espécies de ictioplâncton (PAPASTAMATIOU; BRITTON; BURGESS, 2020); no estudo das feições de fundo e afloramentos rochosos (KOWSMANN; DE LIMA; VICALVI, 2015; na sedimentologia (BULLA; HARTMANN, 2009); na navegação (MARRANO; ANTONIO PEREIRA DE SOUZA; SOARES MAGALHÃES, 2020; DE SOUZA et al., 2009); na identificação de objetos naufragados (CHANDRASHEKAR et al., 2021); e até mesmo nas dragagens e minerações (BIANCO; SOUZA; CUNHA, 2003; FRAZÃO; VITAL, 2007). No entanto, há uma variedade considerada de fontes acústicas disponíveis no mercado, sendo que cada equipamento possui suas especificidades, diretamente ligada ao propósito para qual a pesquisa sísmica será empregada (DE SOUZA et al., 2007).

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

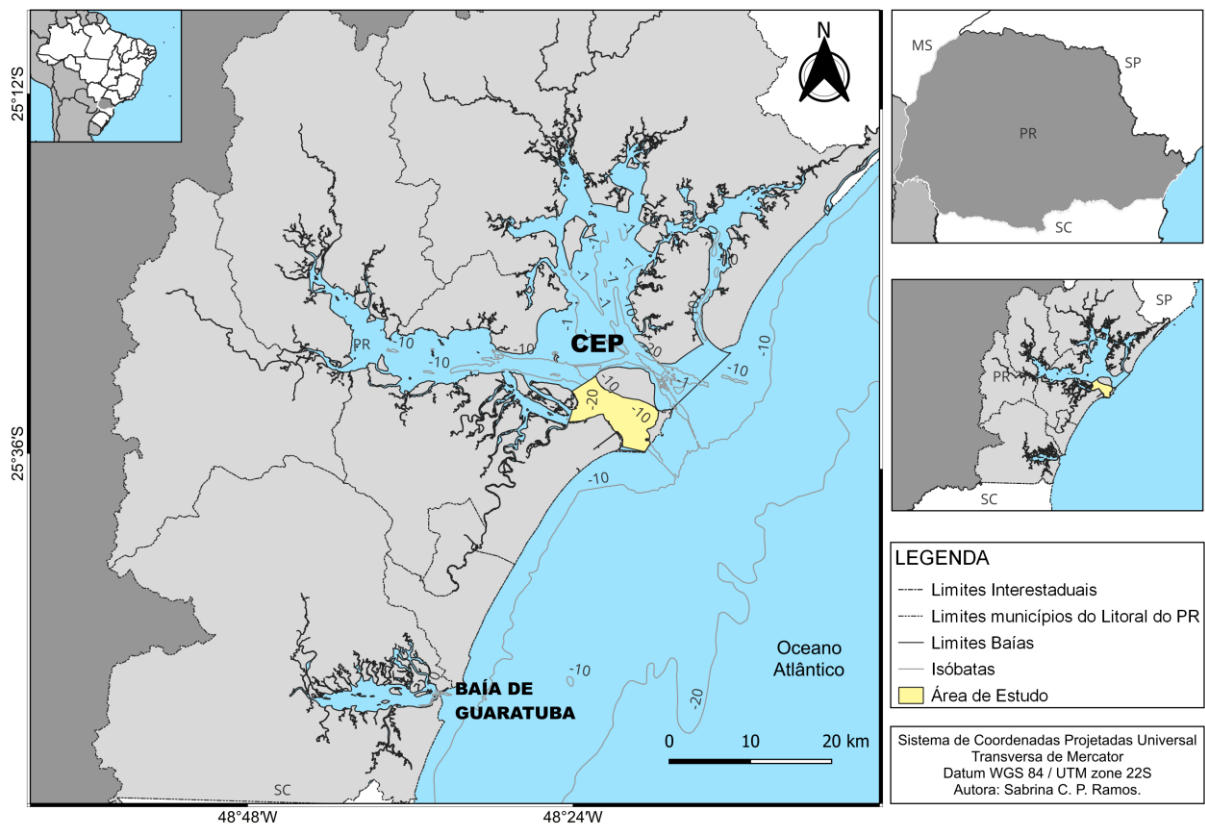
3.1 LOCALIZAÇÃO

As oscilações do nível relativo do mar (NRM) ao longo do Período Quaternário, podem ter contribuído significativamente para a formação da planície costeira do Estado do Paraná (NOVAK; LAMOUR; CATTANI, 2016), além de contribuírem para a formação dos estuários encontrados ao longo da atual linha de costa (ANGULO, 2004). O litoral paranaense é marcado por dois estuários bem desenvolvidos e pela costa com influências oceânicas pouco extensa se comparado aos demais estados da federação brasileira. Ao sul do litoral está localizada a baía de Guaratuba, com uma extensão superficial de aproximadamente 50 Km² e uma

desembocadura ancorada por pontais rochosos (LANA et al., 2001). O CEP está localizado na porção centro-norte do litoral, entre os paralelos 25°00'S e 25°35'S, e os meridianos 48°15'W e 48°50'W. A área superficial é de aproximadamente 612 Km² (LANA et al., 2001) e conta com duas desembocaduras formadas em meio aos sedimentos da planície costeira.

A área escolhida para a análise das feições foi delimitada através de um polígono que engloba a região da desembocadura sul do CEP (FIGURA 6), pelas suas possibilidades concretas de ocorrência de feições de fundo. A área de interesse se distribui entre o norte do município de Pontal do Paraná, o sudoeste da Ilha do Mel, a porção leste da Ilha da Cotinga segundo até a Ilha da Galheta.

FIGURA 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO LITORAL DO PARANÁ, COM DESTAQUE NOS ESTUÁRIOS CONSTITUINTES.



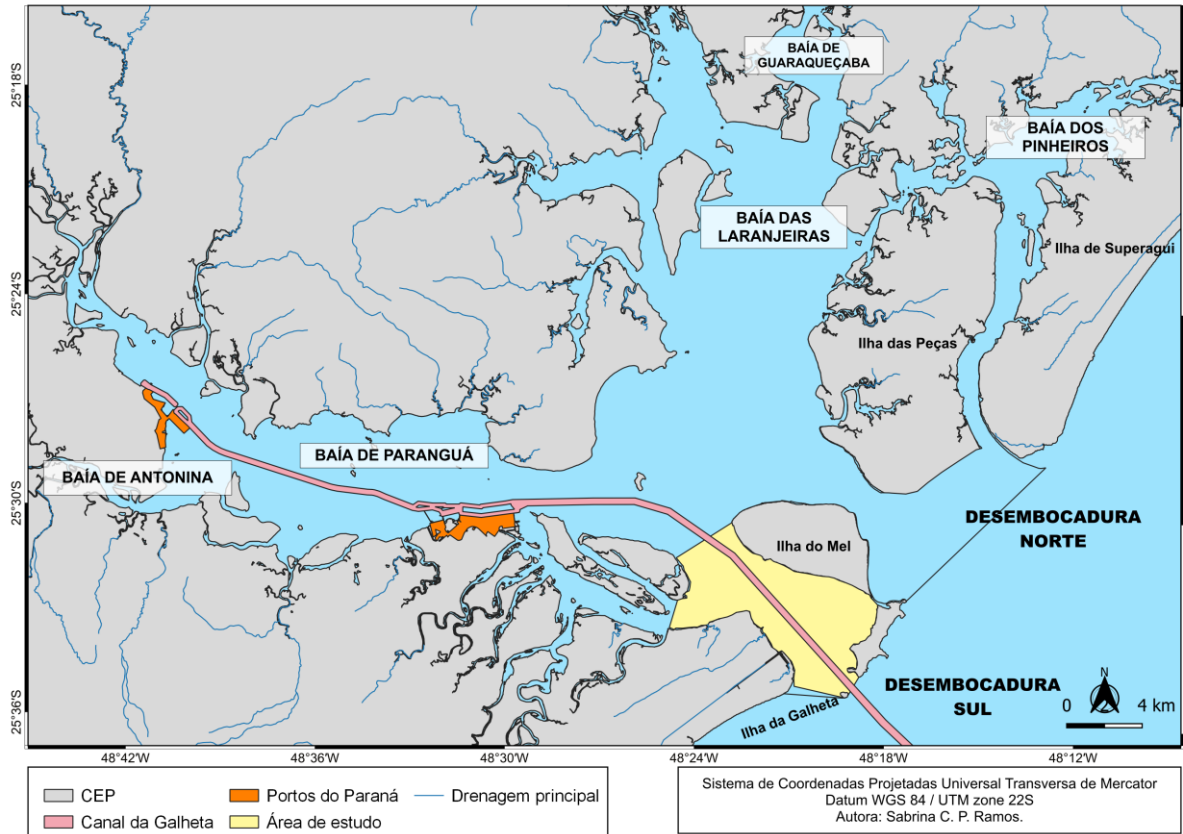
FONTE: A autora (2023)

A geometria do CEP apresenta dois eixos principais (FIGURA 7), o que compreende as baías de Antonina e Paranaguá com ≈40 km de extensão, dispostas no eixo Leste-Oeste (EW) e as baías de Guaqueçaba, das Laranjeiras e dos Pinheiros, com ≈30 Km de extensão disposta no eixo Norte-Sul (NS). O CEP recebe

a drenagem de aproximadamente 70% da área da bacia da bacia hidrográfica litorânea paranaense (MANTOVANELLI et al., 2004), onde 54% da drenagem total está localizada nas bacias dos setores de Antonina e Paranaguá, resultando, conseqüentemente, em uma maior influência do aporte de água doce continental. As duas desembocaduras do CEP são delimitadas pela posição geográfica em relação à Ilha do Mel, denominadas de desembocadura Norte e Sul. A desembocadura ao sul, apresenta um canal, posicionado entre a Ilha do Mel e a Ilha da Galheta, denominado pela autoridade portuária como canal da Galheta (LAMOUR, M.R.; ANGULO, R.J.; SOARES, 2007).

O canal da Galheta teve suas obras finalizadas em 1974, a necessidade da abertura deste canal foi em decorrência do acesso dos navios aos Portos do Paraná, a Autoridade Portuária (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina - APPA), que anteriormente eram feitos pela desembocadura Norte, mas devido ao aumento dos tamanhos dos navios, as obras de aprofundamento nos antigos canais não foram mais possíveis (LAMOUR, 2000). A profundidade inicial da região do canal da Galheta variava em 4 m e após as dragagens as profundidades se encontram na média dos 14 m, que é mantida por manutenções constantes. Além do canal artificial, esta desembocadura apresenta trecho mais profundo desta desembocadura mantém profundidades naturais de até 38 m, ocasionando no afunilamento do fluxo de marés pelos pontais rochosos que ocorrem entre as ilhas do Mel e da Galheta (LAMOUR, 2000).

FIGURA 7 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BAÍAS DO CEP, DRENAGEM DOS RIOS, CANAL DA GALHETA E DESEMBOCADURAS.



FONTE: A autora (2023)

3.2 PARÂMETROS FÍSICOS

3.2.1 Clima

Segundo Vanhoni e Mendonça (1980), o Litoral do Estado do Paraná possui um clima do tipo CFa (Clima temperado chuvoso e moderadamente quente), de acordo com a classificação climática de Koeppen, com distinções locais através das variações de maritimidade, do relevo (planície e serras) e da vegetação dominante. Neste tipo de clima a umidade é presente em todas as estações e os verões são quentes. Os sistemas atmosféricos atuantes são divididos em tropicais, com a mTa (massa tropical Atlântica) e mTc (massa tropical continental) tendo pouca participação, e extra-tropicais, com a presença da massa polar Atlântica (mPa) e a frente polar Atlântica (FPa).

A passagem da FPa e da mPa, ocorre no inverno, contribuindo para as menores médias de temperatura observadas ao longo do ano, durante os meses de junho, julho e agosto, marcados pelo período seco. Já no verão ocorrem os períodos mais quentes e úmidos, entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, sendo este último o mais quente do ano (VANHONI; MENDONÇA, 1980).

Segundo Lamour (2000), a média anual de chuva é de 1988 mm, com temperatura média anual do ar de 21°C e com a média anual da umidade relativa do ar de 85 %. Os ventos predominantes são provenientes de Leste e Sudeste, as velocidades máximas são de 25 m.s⁻¹ (S - SSW), com média é de 4 m.s⁻¹, com direções predominantes para os quadrantes SE/E/NE.

3.2.2 Circulação e Marés

A circulação estuarina no eixo EW do CEP é basicamente regida por correntes de maré, com influência sazonal do aporte fluvial das bacias de (KNOPPERS; BRANDINI; THAMM, 1987). Os valores das correntes de vazante ficam entre 10% a 15% superiores às de enchente, resultado da influência dos atritos lateral e de fundo, que aumentam com a aproximação da cabeceira dos estuários (CAMARGO, 1998), e resultado também do aporte de água doce a da circulação residual (MARONE et al., 1995). Cruz e Noernberg (2020), identificaram que a circulação residual no canal da Galheta é para dentro do estuário e que próximo as margens de Pontal do Sul a circulação residual tem direção para a plataforma continental. Além disso, observaram também a presença de três vórtices principais, localizados em Pontal do Sul, no saco do Limoeiro e no contorno da Ponta do Poço.

O CEP é classificado como um estuário parcialmente misturado do tipo B apresentando heterogeneidade lateral (KNOPPERS; BRANDINI; THAMM, 1987). Em relação a mistura vertical, a coluna d'água é essencialmente homogênea, exceto por alguns momentos nas trocas entre marés, onde camadas com densidades diferentes são bem marcadas, principalmente no início da maré enchente (MARONE et al., 2007). Apresenta uma profundidade média de 5,4 m com um volume total de água 1.4109 m³ e um tempo de residência de 3,49 dias (MANTOVANELLI et al., 2004). Devido aos fatores climáticos, os padrões de circulação e estratificação apresentam

variação sazonal. Em condições normais os ventos são predominantemente dos setores ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m.s^{-1} (MARONE; CAMARGO, 1994), sendo controlado pela influência da alta do Atlântico sul e pela passagem de sistemas frontais, podendo ser observadas velocidades superiores a 25 m.s^{-1} em direção SE durante o deslocamento de sistemas frontais (MARONE et al., 1997)

Em relação a dinâmica de maré, o CEP é regido predominantemente por marés semidiurnas, com desigualdades diurnas, e apresenta forte assimetria nas elevações e correntes de maré. As amplitudes máximas variam entre 1,7 m na desembocadura a 2,7 m no interior da baía (MARONE; JAMIYANAA, 1997). No canal da Galheta as velocidades máximas de correntes de maré enchente são de $75,2 \text{ cm.s}^{-1}$ (direção 320°) na superfície e $60,8 \text{ cm.s}^{-1}$ no fundo, e nos períodos de maré vazante $95,6 \text{ cm.s}^{-1}$ (direção 140°) na superfície e $81,3 \text{ cm.s}^{-1}$ no fundo (FUNPAR, 1997). Estudos para compreender as correntes de marés do CEP (MARONE et al. 1995; MANTOVANELLI, 1999; NOERNBER, 2001), demonstram um padrão de correntes complexo.

3.2.3 Ondas

A plataforma interna rasa do litoral do Paraná tem o regime de ondas dominado por ondas de alta frequência, geralmente formadas por ventos próximos à costa, provindos predominantemente de propagação do quadrante SSE (NEMES; MARONE, 2013). Em eventos episódicos, como a passagem de ciclones subtropicais, ocorre a incidência de ondas de alta energia, assim como a formação de estados de *swell*. Os parâmetros incidentes de ondas são influenciados pela variação sazonal acentuada e também pelas variações interanuais.

As ondas que chegam no CEP, pelo setor entre a ilha da Galheta e o balneário Pontal do Sul, apresentam alturas significativas menores que 0,4 m com períodos da ordem de 7 s, já as ondas menores, com alturas de até 0,25 m apresentam períodos de até 12 s. São provenientes principalmente do quadrante SE e durante o inverno dos quadrantes S e SE. Possuem características não lineares de propagação, resultando num fluxo turbulento que implica em elevadas taxas de ressuspensão e transporte de sedimentos (MARONE et al., 1997).

As correntes resultantes são observadas ao fundo na zona após a arrebentação, ao sul da desembocadura da Baía de Paranaguá, indicam deriva tanto no sentido Norte quanto no sentido Sul, tendo valores máximos médios de $\approx 0,3 \text{ m.s}^{-1}$, mas mantendo-se próximo dos $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ na maior parte do tempo (ANGULO et al., 2006). Estes valores de correntes são capazes de transportar sedimentos por tração, uma vez que correntes com velocidades a partir de $0,16 \text{ m.s}^{-1}$ são capazes de transportar sedimentos com diâmetro médio de $0,16 \text{ mm}$ (ANGULO et al., 2006).

3.3 SEDIMENTOS DE FUNDO

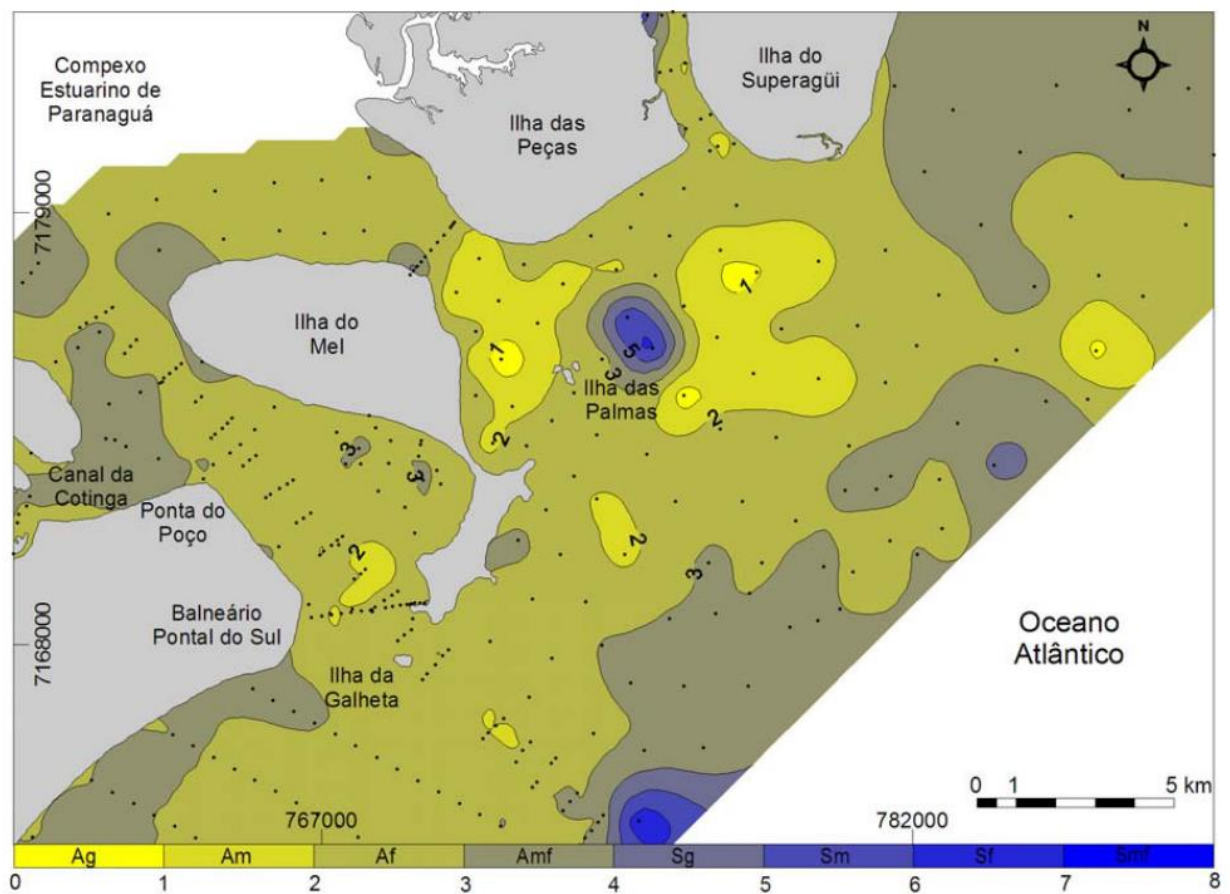
Os sedimentos de fundo do CEP foram analisados e descritos por Bigarella et al. (1978), constatando que no interior do estuário os sedimentos ficam mais finos e menos selecionados, enquanto na desembocadura os sedimentos são mais grossos e mais selecionados, e que o transporte e a deposição ocorrem em função principalmente das correntes de maré. Foram observados também três padrões de composição do material de fundo, o material biogênico tendo origem no interior do sistema estuarino e apresentando frações de matéria orgânica e carbonato biodentrítico. O material de origem fluvial sendo composto por cascalho, areia, silte e argila. E o último padrão observado são os provenientes do retrabalhamento direto da planície costeira, constituído principalmente por areia fina.

Em relação a granulometria, Bigarella et al. (1978) analisaram que a desembocadura do CEP é composta predominantemente por areia fina a muito fina e bem selecionada. E também que os sedimentos mais grossos estão associados aos canais de maré e os mais finos estão associados aos ambientes de baixa energia. Concluindo-se que a distribuição dos sedimentos de fundo do CEP é controlada pelos parâmetros físicos, principalmente pela profundidade e pelas correntes de maré.

Lamour, Soares e Carrilho (2004) também realizaram estudos sob a composição do sedimento de fundo da baía de Paranaguá, constatando que são constituídos, principalmente, por partículas de diâmetros médios entre siltes finos e areias finas pobremente selecionados. Enquanto a desembocadura é composta por sedimentos que variam entre areias finas a médias (FIGURA 8 E TABELA 2) e

moderadamente a bem selecionadas (FIGURA 9 e TABELA 3). Isto ocorre, pois os padrões de distribuição no interior do estuário estão atrelados ao intenso processo de erosão das bacias hidrográficas da Serra do Mar e na desembocadura estão atrelados à influência dos sedimentos oriundos da planície costeira. Além disso, os melhores graus de selecionamento dos sedimentos neste ambiente estão atrelados aos frequentes processos de dragagem para a manutenção das condições de navegação do canal da Galheta.

FIGURA 8 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) NA DESEMBOCADURA DO CEP. ONDE: AG - areia grossa; AM - areia média; AF - areia fina; AMF - areia muito fina; SG - silte grosso; SM - silte médio, e SF - silte fino.



FONTE: LAMOUR et al., 2007.

TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO (%) DO DIÂMETRO MÉDIO NA DESEMBOCADURA DO CEP.

Local/Diâmetro médio (Φ)	AG	AM	AF	AMF	SG	SM	SF
Desembocadura	3,8	14,6	75,4	4,6	0,8	0,8	-

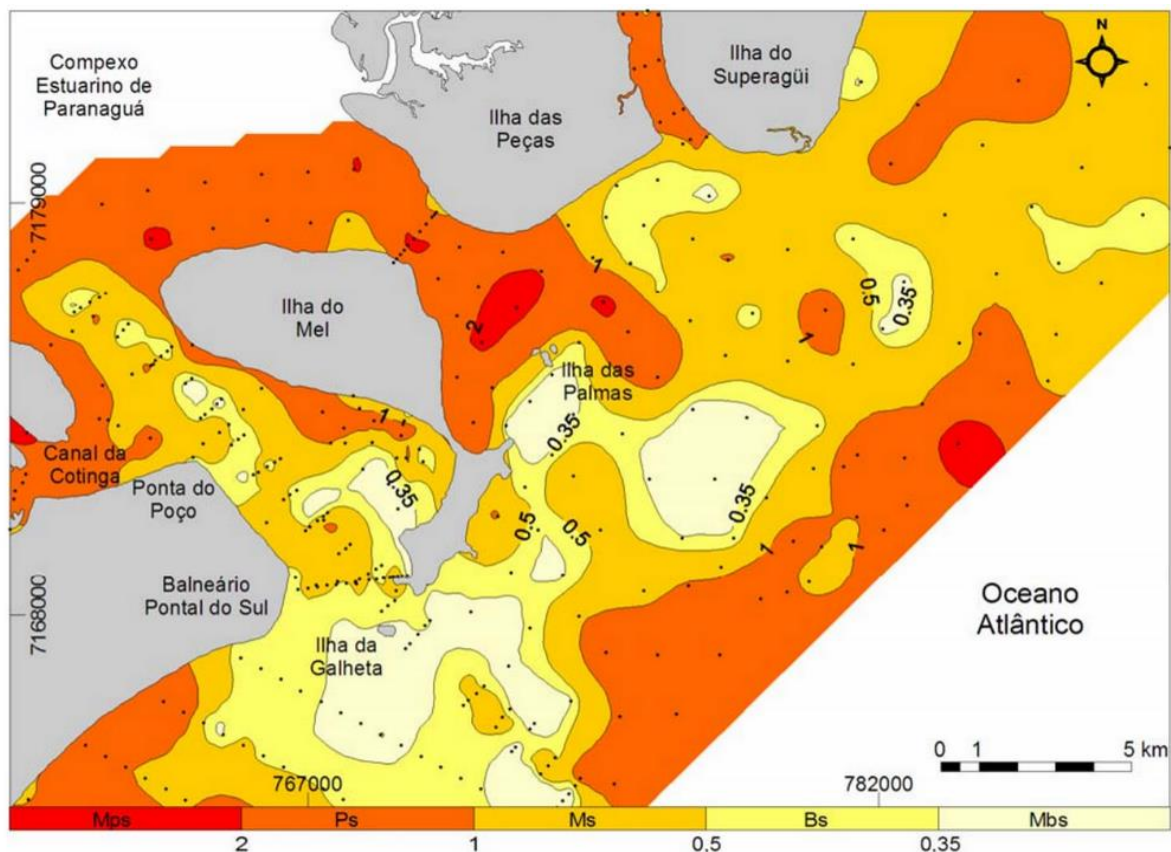
FONTE: LAMOUR et al., 2004.

TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO (%) DO GRAU DE SELEÇÃO GRANULOMÉTRICA NA DESEMBOCADURA DO CEP.

Local/Grau de Seleção	MPS	PS	MS	BS	MBS
Desembocadura	3,2	19,0	30,2	19,8	27,7

FONTE: LAMOUR et al., 2004.

FIGURA 9 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE GRAU DE SELEÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO NA DESEMBOCADURA DO CEP. ONDE: MPS - muito pobremente selecionado; PS - pobremente selecionado; MS - moderadamente selecionado; BS - bem-selecionado, e MBS - muito bem-selecionado.



FONTE: LAMOUR et al., 2007.

Em relação ao transporte, transversal à linha de costa, dos sedimentos de fundo por tração, movidos pela intensidade das correntes de maré, acontecem tanto estuário adentro quanto estuário afora, tendo maior intensidade no sentido de oceano afora (LAMOUR et al., 2007). Enquanto o transporte longitudinal à linha de costa está relacionado com a energia das ondas (NOERNBER, 2001). Durante a passagem de frentes frias, ocorre a geração de marés meteorológicas, devido a ação intensificada dos ventos, estes eventos estocásticos de alta energia

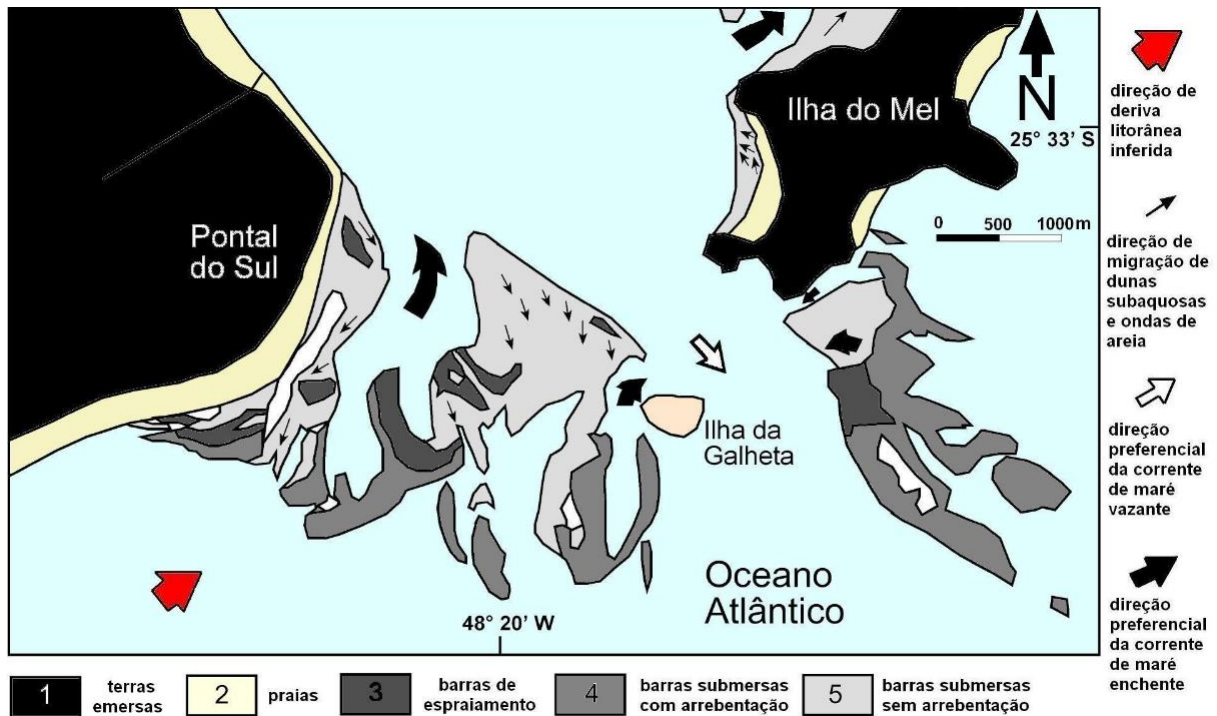
potencializam o transporte sedimentar e, conseqüentemente, modificam as feições sedimentares presentes na desembocadura do CEP.

3.4 GEOMORFOLOGIA DE FUNDO

A profundidade, a velocidade do fluxo e o tamanho do grão são responsáveis por moldar o fundo em uma configuração específica (FRITZ; MOORE, 1988). Logo, as relações feitas entre a interação do fluxo e a feição do fundo podem servir como interpretação da dinâmica local. Na maior parte dos estuários ocorre o confinamento das correntes de maré devido a presença dos bancos de areia do canal, que produzem um fluxo retilíneo. Com isso, as cristas das ondas de areia são predominantemente transversais às correntes de enchente e vazante, assim como nos transportes residuais (LAMOUR, 2007).

Em estudos analisados por fotos aéreas das imediações da ilha da Galheta, na desembocadura sul, Angulo (1999) apresentou todas as formas que se esperam encontrar em um delta de maré vazante (FIGURA 10), o canal principal de vazante, as barras lineares, o lobo terminal, as barras de espraiamento, o canal marginal de enchente. A rampa de enchente e o esporão de vazante foram identificados no saco do Limoeiro, este delta de maré é considerado o maior do litoral do Paraná. No mesmo trabalho, é apresentada também a complexidade deste sistema estuarino, com a presença de esporões arenosos orientados sentido estuário adentro, relacionados com a capacidade do transporte de sedimentos pela deriva longitudinal, e das feições de fundo direcionadas para fora do estuário.

FIGURA 10 - CONFIGURAÇÃO DA DESEMBOCADURA SUL DO CEP, CONTENDO FEIÇÕES DO DELTA DE MARÉ VAZANTE.



FONTE: ANGULO (1999), modificado por VEIGA et al. (2005).

Lamour (2007), observou a presença de dunas subaquosas e ondas de areia distribuídas no fundo da porção externa do CEP e na porção interna da plataforma rasa observou um corpo arenoso com barras de espraimento de contornos bem definidos, que se divide em dois bancos entre o canal dragado, denominados de SW e NE. O mesmo autor concluiu que os sedimentos que se deslocam pelas correntes de deriva litorânea no sentido NE são aprisionados pelo efeito molhe hidráulico das correntes de maré vazante do CEP. O canal da Galheta age como armadilha de sedimentos, ocasionando em uma maior captura dos sedimentos que chegam pela costa.

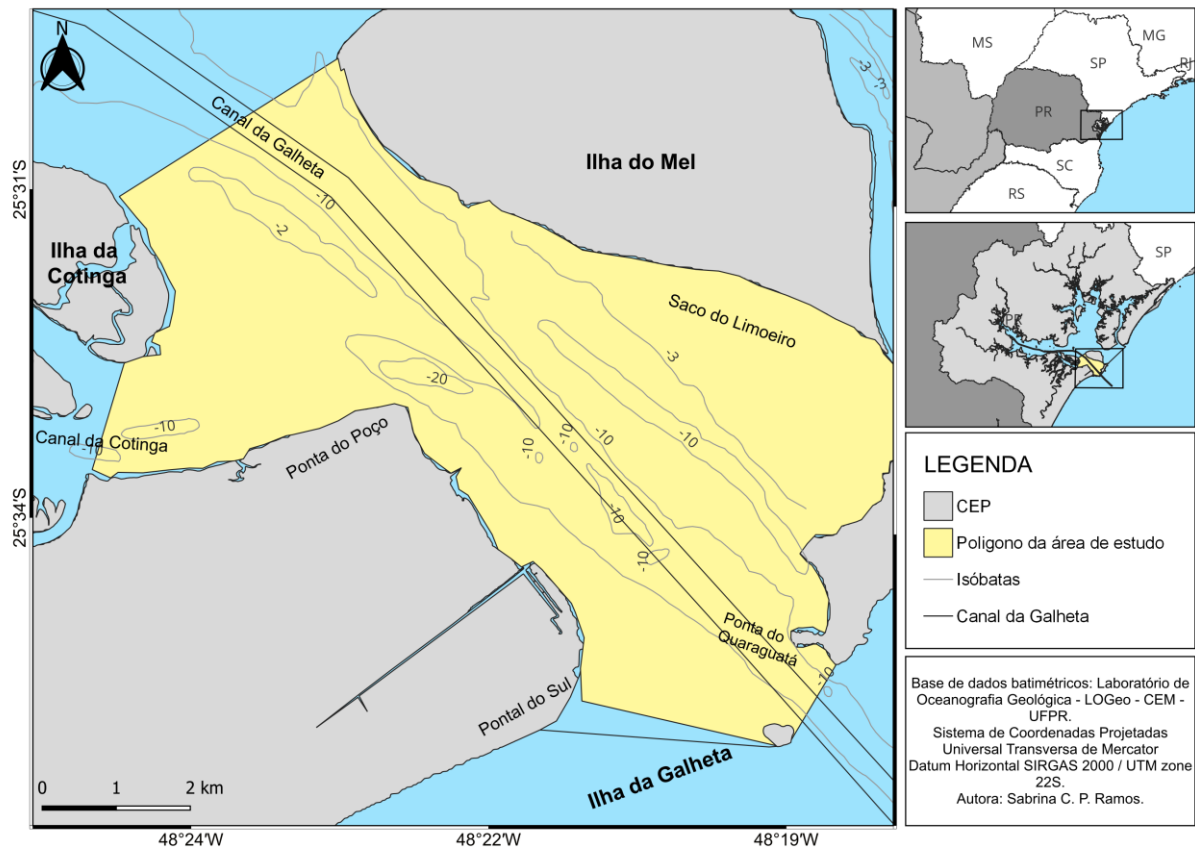
Lamour e Soares (2007) constataram que na desembocadura da baía de Paranaguá ocorrem ondas de areia (*sandwaves*) com cristas lineares e transversais às correntes de maré com mais de 2 m de altura. Os mesmos autores identificaram feições de ondulações assimétricas de grande porte com cristas retilíneas, presentes na margem SW da desembocadura sul do CEP. Com comprimento de ondas em torno de 25 m e altura de 6 m, classificadas como ondas de areias e tendo o deslocamento preferencial de acordo com as correntes de maré vazante.

As correntes de maré de enchente no CEP possuem períodos de menor duração de tempo, enquanto as correntes de maré vazante possuem maior duração e maior intensidade. Estas características fazem com que as feições de fundo e os vetores de tendência de transporte sedimentar de longo prazo sejam predominantemente no sentido da maré vazante, ou seja, para fora do estuário (LAMOUR, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de sonografia e batimetria utilizados no presente estudo foram cedidos pela APPA (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina) para o Laboratório de Oceanografia Geológica do CEM-UFPR (LOGeo), através do Programa de Determinação e Balanço de Sedimentos, previstos para o monitoramento ambiental após o término das obras de dragagem para o aprofundamento do canal de navegação que dá acesso ao Porto de Paranaguá. Os dados foram selecionados e recortados para abrangerem apenas a área de estudo (FIGURA 11)

FIGURA 11 – MAPA DO POLÍGONO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTENDO AS ISÓBATAS, CANAL DA GALHETA E TOPONÍMIAS.



FONTE: A autora (2022).

Neste estudo foram utilizados dados de duas campanhas de aquisição de dados. Foram feitas comparações dos dados sonográficos através de análises visuais e qualitativas entre as campanhas. A primeira campanha de levantamentos sonográficos ocorreu entre junho a dezembro de 2021, enquanto que a segunda foi realizada de dezembro de 2021 até fevereiro de 2022. A sonografia foi realizada

com o auxílio do sonar de varredura lateral (side scan sonar) no modelo EdgeTech 4200, o qual possui frequência de 300 e 600 kHz.

4.1 ANÁLISE DIGITAL DE DADOS

4.1.1 Dados de sonografia

O processamento dos dados foi realizado através do *Software SonarWiz v5 (2009)* da *Chesapeake Technologies* para a elaboração de mosaicos dos sonogramas e a identificação e interpretações das feições de fundo. Neste processo foram utilizados os canais 3 e 4 (boreste e bombordo respectivamente), de alta frequência. Todos os dados brutos precisaram passar por etapas de processamento (FIGURA 12), com o objetivo de interpretar a superfície de fundo e analisar a morfologia do ambiente. Estas etapas consistiram na aplicação de filtros, correções e ganhos.

A primeira etapa foi a criação um projeto no *Software SonarWiz 5*, que através da importação dos dados brutos de *sidescan* permitiu realizar filtragens iniciais e correções geométricas. Na mesma aba de importação dos dados para o pós-processamento, também foi possível trabalhar nos ganhos individuais de cada imagem, para uma melhor visibilidade de cada imagem.

Durante o registro da imagem sonográfica, a coluna de água entre o sensor e o fundo marinho foi registrada, mas foi necessário removê-la para a obtenção de uma linha de fundo contínua. A ferramenta *Bottom-track* possibilitou o mapeamento da primeira reflexão de fundo registrada no sonograma e a unificação das extremidades de boreste e bombordo da linha, os quais estavam separados nos dados originais. Então, foi identificado o primeiro retorno acústico estabelecendo a altura do peixe acima do fundo do leito, o que foi fundamental para a correção das distorções geométricas. Com isso, o *Bottom-track* pode ser efetuado de forma manual afim de corrigir a linha de fundo, quando foram verificados ruídos na coluna da água durante a navegação e/ou alterações na topografia do fundo.

A ferramenta *Split* permitiu a divisão longitudinal do sonograma, permitindo a individualização de partes que apresentaram distorções ou ruídos e podendo ser tratados individualmente ou excluídos do mosaico. Neste trabalho a função *Split* foi

utilizada quando alguma linha apresentou sobreposição devido a mudança de direção, ocasionadas pelas curvas de navegação, sendo removidas do mosaico sonográfico.

A última etapa consistiu na aplicação dos ganhos, tendo como objetivo aumentar a amplitude da intensidade do retroespalhamento, que pode causar perda de qualidade das imagens devido ao espalhamento geométrico, absorção e refração das ondas acústicas. Após a aplicação dos ganhos a imagem melhorou, pois as feições foram realçadas pela uniformização dos tons e a melhora do contraste na análise dos padrões de fundo. Neste trabalho foi aplicada a função *Empirical Gain Normalization (EGN)*, que através da soma e do cálculo da média da altitude e do alcance gerou uma tabela que foi usada para calcular o padrão do feixe do sonar. **(Empirical Gain Normalization (EGN)).**

FIGURA 12 – ORGANOGRAMA DAS ETAPAS E OBJETIVOS DO PÓS-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO SONAR DE VARREDURA LATERAL.

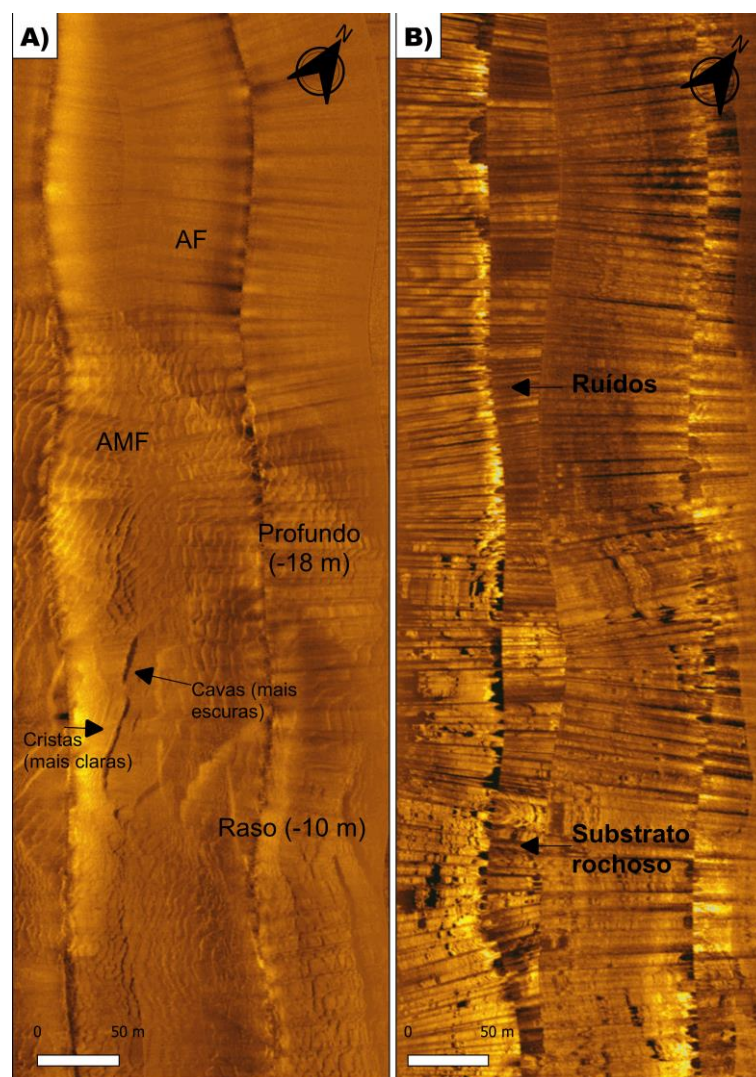


FONTE: A autora (2023)

As imagens deste trabalho foram tratadas pela aplicação do filtro *Cooper*, disponível no software do fabricante, que permitiram realçar os contrastes produzidos pelas texturas e morfologia do fundo, da granulometria e de características dos sedimentos (JUNG et al., 1998). As diferentes tonalidades de cores permitiram a diferenciação com textura homogênea, marcando as cristas com tons mais claros e as cavas com tons mais escuros (BELO; DIAS; DIAS, 2002;

PAOLO; LAMOUR, 2007; MAHIQUES, 2008). Já a diferença de textura (homogênea ou granulada) permitiu a identificação de tipos de superfície (FIGURA 13), tendo as rochas caracterizadas pela textura granulada com tonalidade mais clara e os sedimentos por textura homogênea com coloração mais escura (LAMOUR, 2007). Os ruídos são facilmente identificados, quando comparados com imagens de boa qualidade.

FIGURA 13 – EXEMPLO DE PADRÃO SONOGRÁFICO, SENDO A) TEXTURAS E CORES DAS CAVAS E DAS CRISTAS, DIFERENÇA DE SEDIMENTOS (AF - Areia Fina e AMF – Areia Muito Fina) E PROFUNDIDADES, NA REGIÃO DO CANAL DA COTINGA; B) SUBSTRATO ROCHOSO E RUÍDOS, PRÓXIMO A ILHA DA GALHETA.



FONTE: A autora (2023).

Em relação a classificação das ondulações, foram identificadas através da interpretação visual das imagens, a partir da classificação baseada na utilização das cristas como fator determinante na denominação (FRITZ; MOORE, 1988). Também foi utilizada a classificação proposta por Ashley (1990), que consiste na divisão das

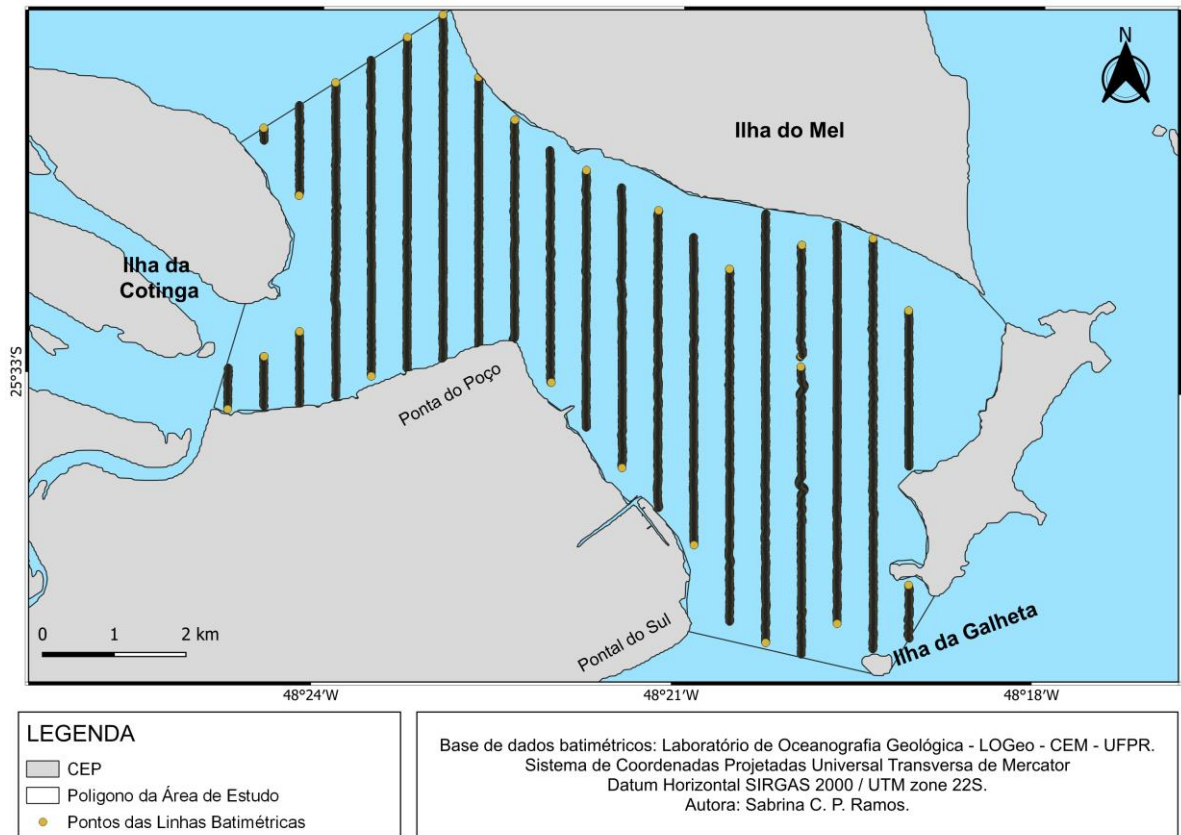
dunas em dois grupos de acordo com sua estrutura sedimentar, considerando uma mesma granulometria, o tamanho e a forma das feições associados aos processos hidrodinâmicos que as geraram, com a intenção de complementar os resultados do presente estudo.

4.1.2 Dados de batimetria

Os dados batimétricos, fornecidos pelas campanhas da APPA, vieram em formato XYZ (.xyz), foram utilizados os dados de alta frequência com o zero marcado pelo Nível Médio do Mar (NMM). A interpolação dos dados foi feita através da função de interpolação *TIN* (*Triangulated Irregular Network*), disponível no software *QGIS* [software GIS], versão 3.28.2 da *QGIS Geographic Information System*. Esta função consiste na inserção de círculos circunscritos em volta dos pontos amostrais, que serão intersectados pela distância do vizinho mais próximo e conectados por uma rede de triângulos mais compactos possíveis e não sobrepostos, formando assim uma superfície interpolada (*raster*) a partir de pontos de elevação.

Os dados batimétricos brutos foram recortados pelo polígono da área de estudo, contemplando assim 24 linhas de batimetria e uma malha de 384 pontos (FIGURA 14). A aplicação do método TIN foi feita através do método de interpolação linear, com pixel no intervalo de 1 metro para o eixo x e y, totalizando em 8.923 linhas e 9.519 colunas. Para a criação das curvas das isobátas foi utilizada a função *Contour*, disponível no software *QGIS*, aplicada sobre a camada *raster*, gerada após a aplicação do método de interpolação TIN, com intervalos de 5 m.

FIGURA 14 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS LINHAS BATIMÉTRICAS DISTRIBUÍDAS NA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: A autora (2023).

4.2 ELABORAÇÃO DOS MAPAS E IMAGENS GEORREFERENCIADAS

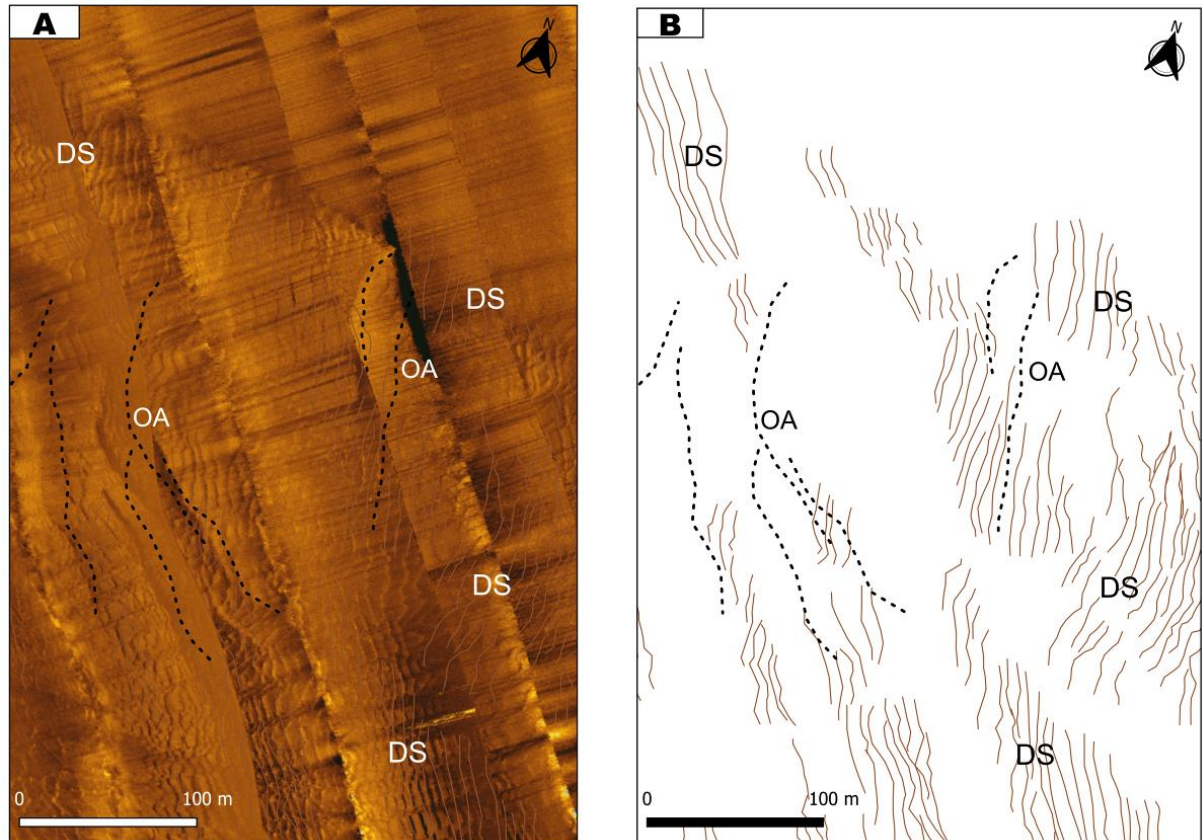
Todos os mapas e imagens georreferenciadas deste trabalho foram elaborados no Sistema de Coordenadas Projetadas Universal de Transversa de Mercator em WGS-84 / UTM Zona 22S, através do *software* QGIS (QGIS *Geographic Information System*, versão 3.28.2, ANO).

O mapa de distribuição das feições foi elaborado através da ferramenta de anotações (colocar o nome da ferramenta – o caminho para encontrá-la no software), onde a composição do mosaico sonográfico permitiu a identificação das feições, que foram identificadas e delimitadas manualmente através do seu contorno em linhas e distinguidas entre ondas de areia e dunas subaquosas (FIGURA 15).

O mesmo método de sobreposição dos sonogramas foi utilizado para a criação de polígonos de classificação das formas das cristas das feições, estes

polígonos foram delimitados através do contorno das áreas que contemplavam feições com cristas similares, sendo divididas entre cristas sinuosas, cuspidadas, linguóides e cristas irregulares, baseadas na classificação proposta por Fritz e Moore (1988).

FIGURA 15 – MODELO DE SOBREPOSIÇÃO DOS SONOGRAMAS (A) PARA O DESENHO DOS CONTORNOS DAS ONDAS DE AREIA (OA) E DUNAS SUBAQUOSAS (DS) (B).



FONTE: A autora (2023).

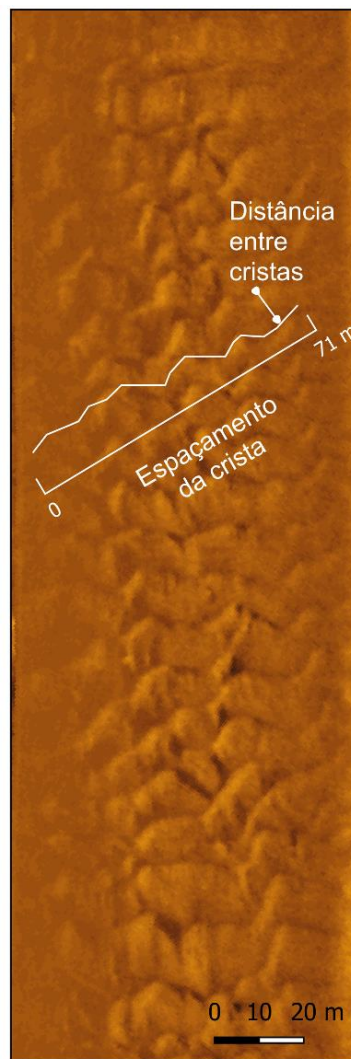
As imagens de deslocamento das feições foram elaboradas a partir da identificação dos padrões de distribuição observados nos sonogramas. As cristas na mesma localidade da área de estudo e com os mesmos padrões de cristas entre as campanhas, foram identificadas e tiveram seu deslocamento calculado através de um ponto fixo marcado para cada área, sendo o ponto fixo 1 ($25^{\circ}33'S$ e $48^{\circ}22'W$) e ponto fixo 2 ($25^{\circ}34'S$ e $48^{\circ}19'W$).

Para uma análise mais detalhada das feições que cobrem o leito da desembocadura, foram escolhidas cinco áreas, julgadas pela autora, com melhores qualidades dos sonogramas, presença clara de feições e em pontos estratégicos das área de estudo. As imagens de cada uma das cinco áreas, tiveram suas feições

descritas a partir das médias de tamanho das cristas, direção preferencial das cristas e profundidade que se encontravam.

As setas indicadoras de direções foram desenhadas no sentido predominante das cristas. As quais têm sua concavidade direcionadas para a direção principal do fluxo (vazante e enchente), incluindo a rugosidade do fundo, ou seja, a presença prévia de feições nas áreas de deposição. Em relação ao tamanho das feições, foram medidas de forma individual e manual cada feição de acordo com o espaçamento longitudinal (comprimento) do início ao fim da crista (FIGURA 16), foram criados polígonos das áreas de feições que apresentaram comprimentos de cristas maiores que 100 m (feições muito grandes) e para as feições que tiveram comprimentos de crista entre 10 e 100 m (feições grandes), baseados na TABELA 1.

FIGURA 16 - MODELO DE TAMANHO E DISTÂNCIA DA CRISTA.



FONTE: A autora (2023).

5 RESULTADOS

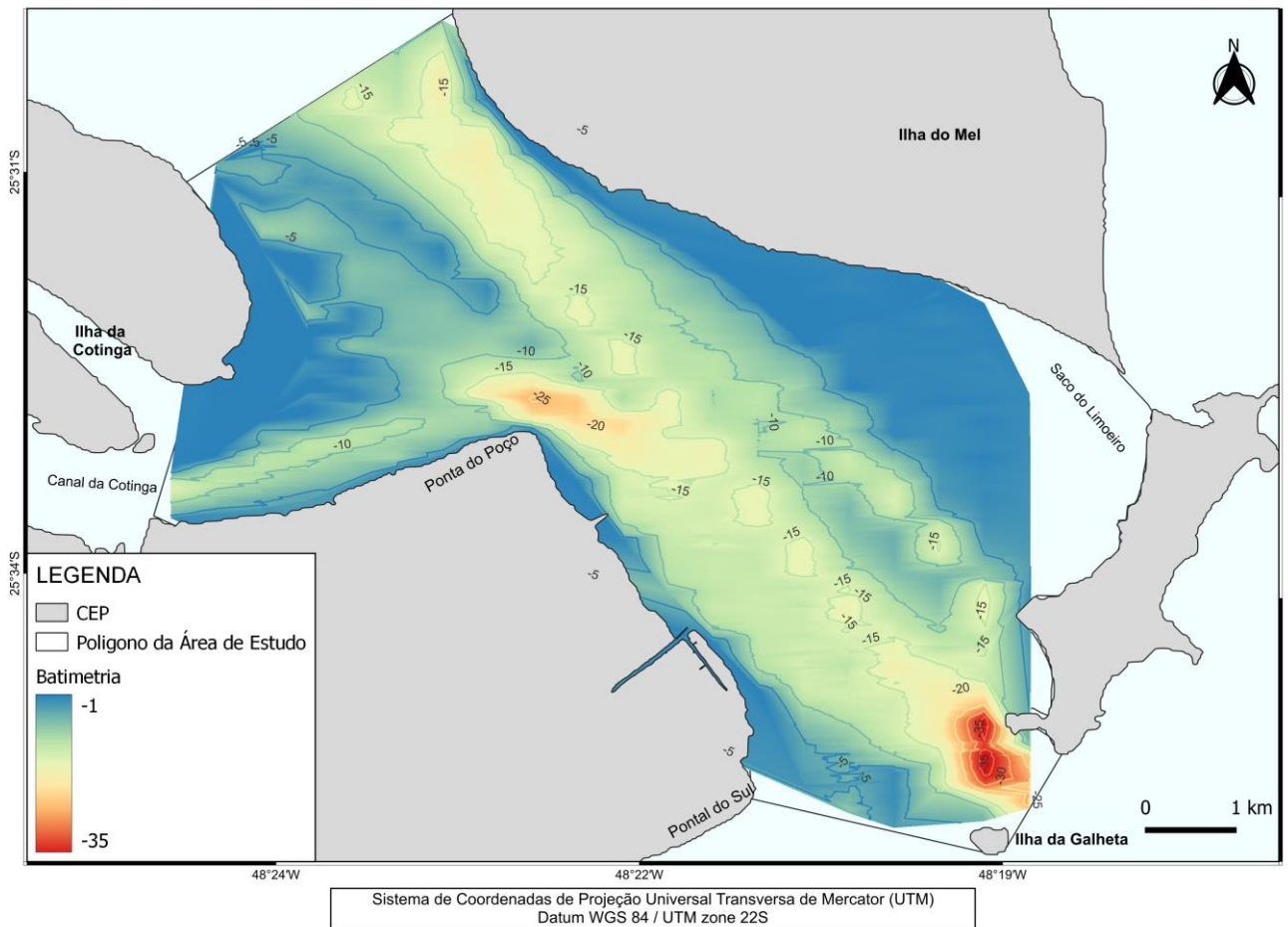
Nesta seção é apresentada a descrição e comparação dos resultados das campanhas sonográficas para uma melhor compreensão da distribuição das feições de fundo; classificação da morfologia presente na desembocadura sul; caracterização da variabilidade temporal das ondas de areia; direção do transporte residual e padrões de circulação.

Os resultados obtidos neste trabalho estão organizados da seguinte forma: I) batimetria, através da elaboração dos mapas batimétricos; II) sonogramas, relacionados as imagens geradas a partir da análise digital dos dados de sonar de varredura lateral, contendo os padrões sonográficos identificados; III) distribuição das feições de fundo, este tópico foi subdividido entre distribuição geral das feições comparados à batimetria, distribuição comparados aos sedimentos de fundo, distribuição da classificação e distribuição dos tamanhos de comprimento das cristas das feições; IV) deslocamento das feições, cristas que tiveram deslocamentos notados entre as campanhas; e V) locais específicos, através da descrição mais detalhada de cinco áreas específicas escolhida pela autora pela qualidade das feições encontradas nestes locais.

5.1 BATIMETRIA

Os levantamentos batimétricos do CEP (FIGURA 17) evidenciaram variações significativas das profundidades. As profundidades médias variaram entre -10 e -20 m, enquanto as áreas mais rasas estavam em -4 m. A presença de dois trechos mais fundos (-20 e -42 m) foram observados e se destacaram das demais profundidades observadas ao longo da área de estudo.

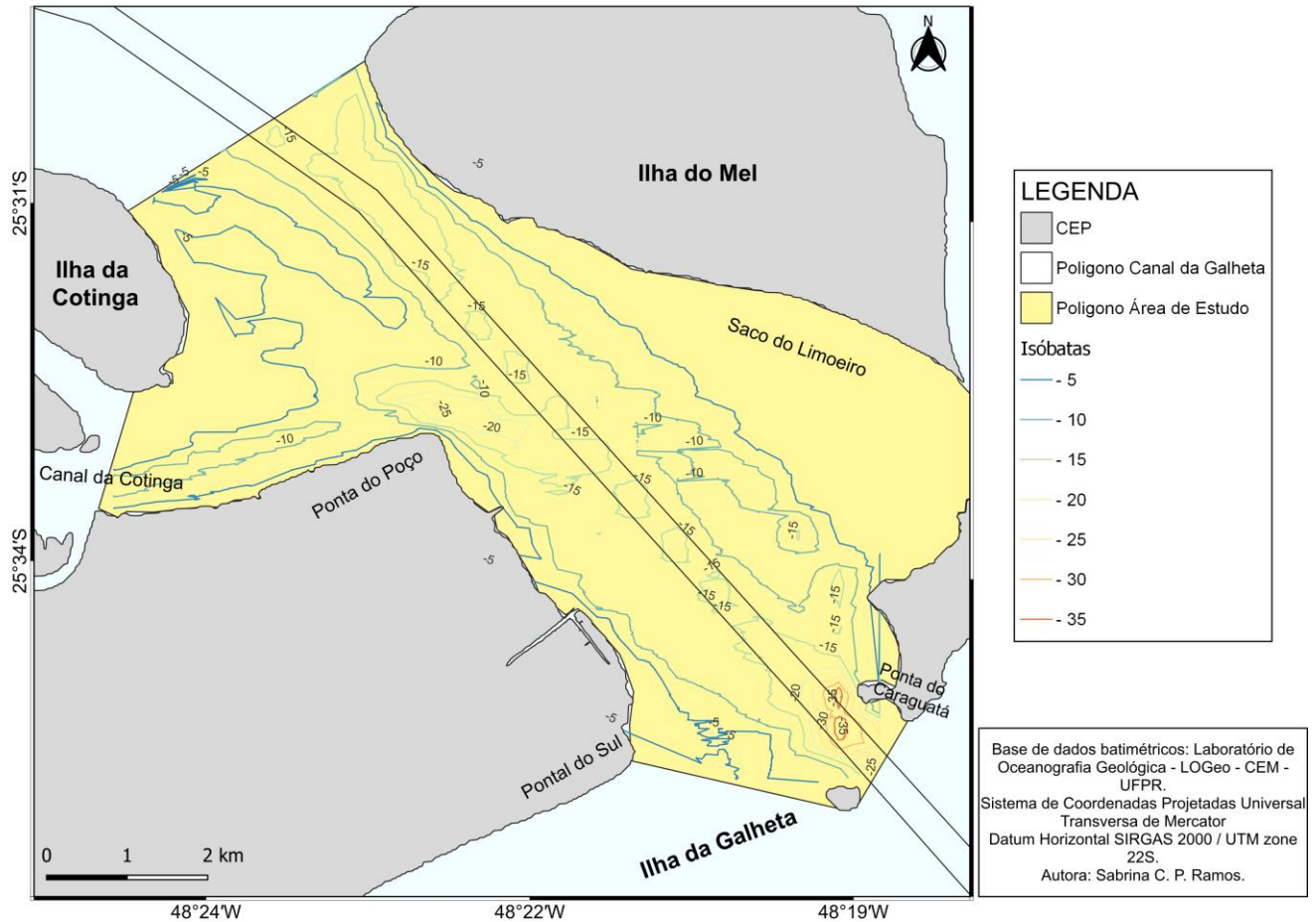
FIGURA 17 - MAPA BATIMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: A autora (2023).

As áreas mais rasas foram identificadas nas margens do estuário e variam de 0 a -6 m. As isóbatas que variam entre -6 e -20 m estão relacionadas aos canais, como é o caso do canal da Galheta. A batimetria indicou duas regiões com profundidades que se diferenciam dos padrões encontrados nos demais locais. A primeira ocorre na Ponta do Poço, variando entre -20 e -22 m, enquanto que a segunda ocorre entre as Ilhas do Mel e da Galheta, próximo a ponta do Caraguatá, variando entre -24 e -38 m (FIGURA 18).

FIGURA 18 - MAPA DAS ISÓBATAS DA ÁREA DE ESTUDO.



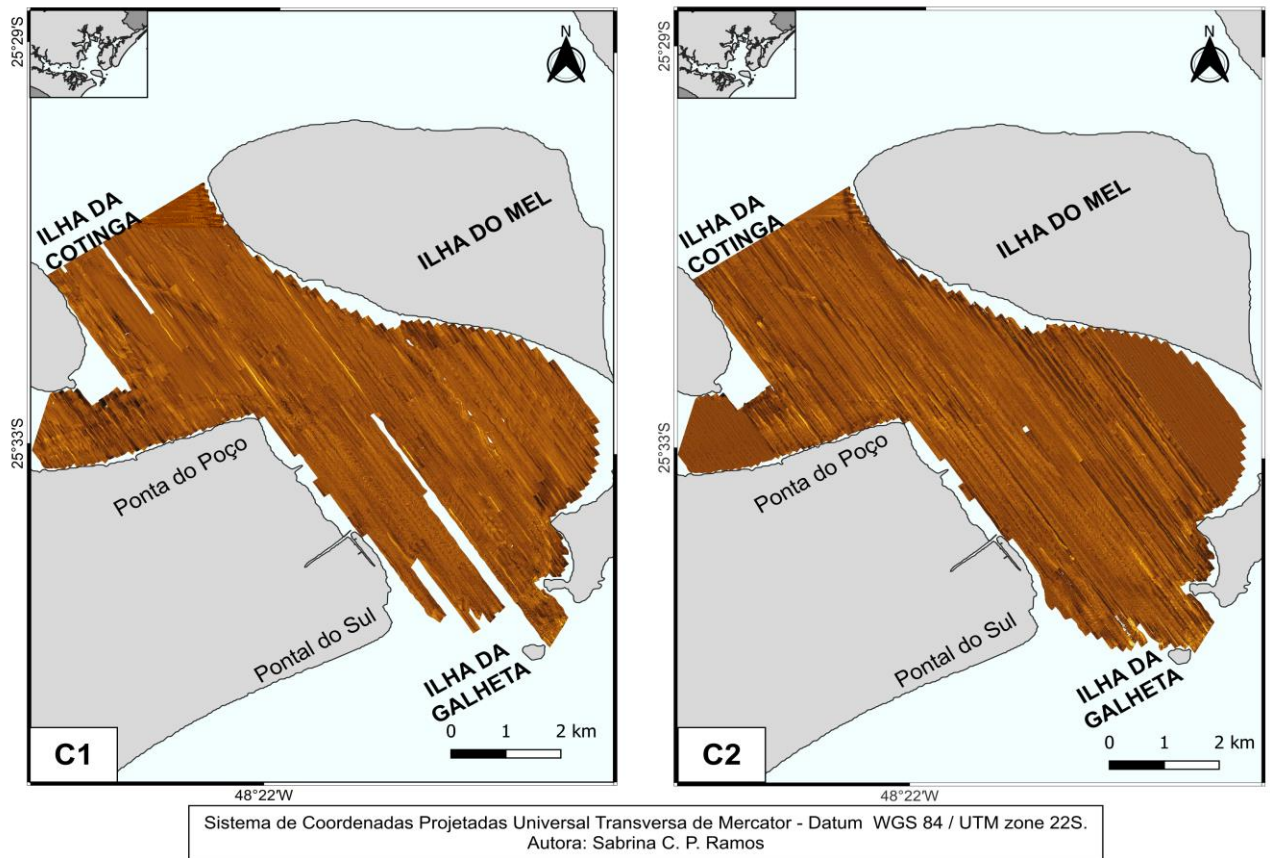
FONTE: A autora (2023).

5.2 SONOGRAMAS

5.2.1 Mosaicos sonográficos

De forma geral, os mosaicos elaborados durante a análise digital dos dados de sonografia (FIGURA 19), obtiveram boa qualidade, exceto em alguns trechos da segunda campanha, causados por possíveis falhas do aparelho durante a aquisição dos dados. Os mosaicos foram amplamente utilizados durante a identificação, classificação, medição dos tamanhos e observações de direções das feições de fundo ao longo deste estudo.

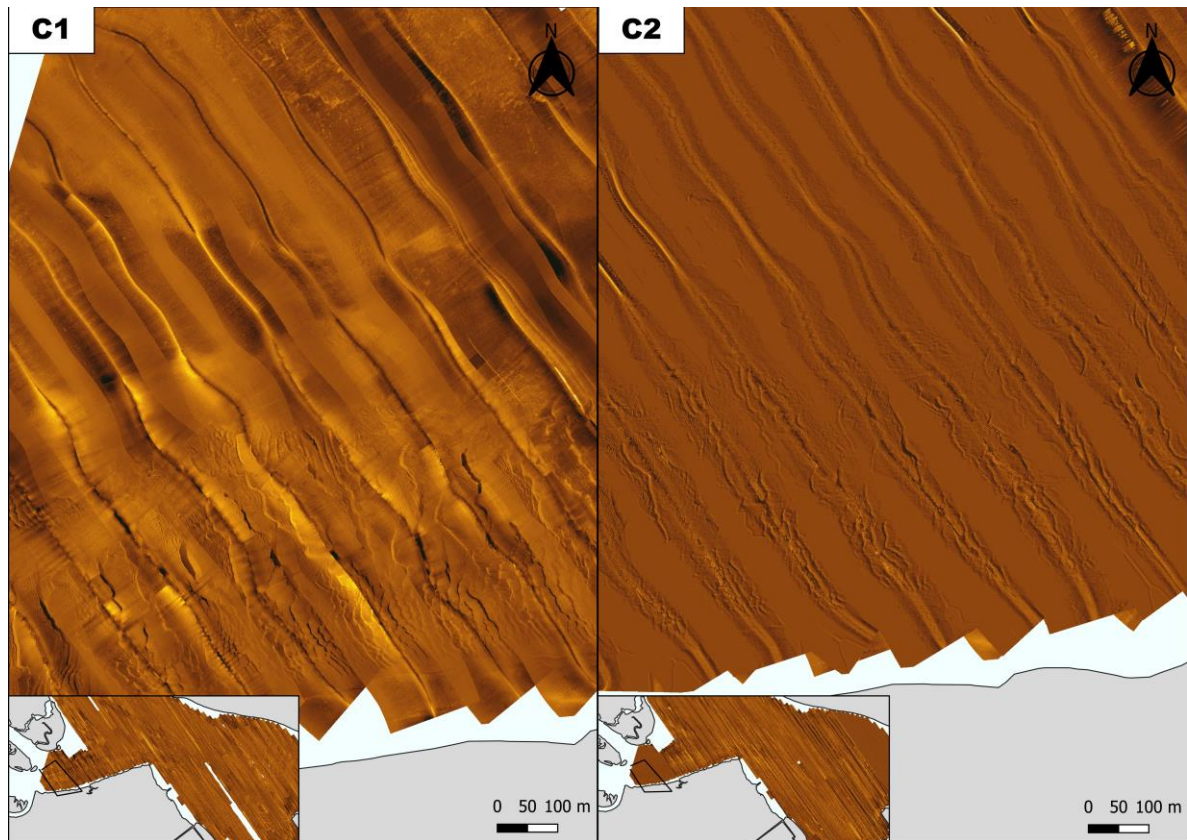
FIGURA 19 – MOSAICO DAS LINHAS DO LEVANTAMENTO SONOGRÁFICO DA PRIMEIRA (C1) (JUNHO A DEZEMBRO DE 2021) E SEGUNDA CAMPANHA (C2) (DEZEMBRO DE 2021 A FEVEREIRO DE 2022).



FONTE: A autora (2023).

É possível observar uma falha dos dados da segunda campanha na região do canal da Cotinga e no saco do Limoeiro (FIGURA 20), essa falha ocorreu devido a problemas durante a aquisição dos dados ou por falhas do equipamento, dificultando a análise detalhada das feições nestas áreas, uma vez que não foi possível corrigir os erros apenas com o pós-processamento dos dados.

FIGURA 20 – TRECHO DO CANAL DA COTINGA TENDO A DIFERENÇA ENTRE IMAGENS SEM FALHAS NA AQUISIÇÃO(C1) E COM FALHAS (C2).

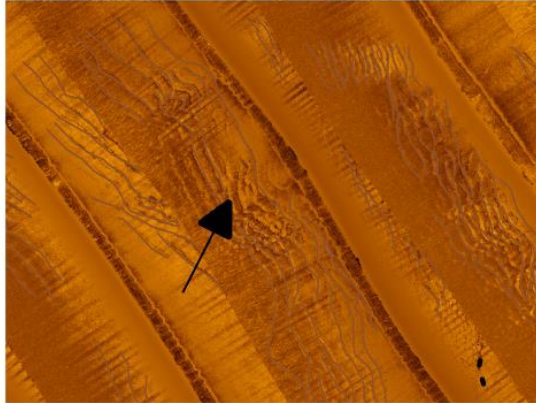


FONTE: A autora (2023).

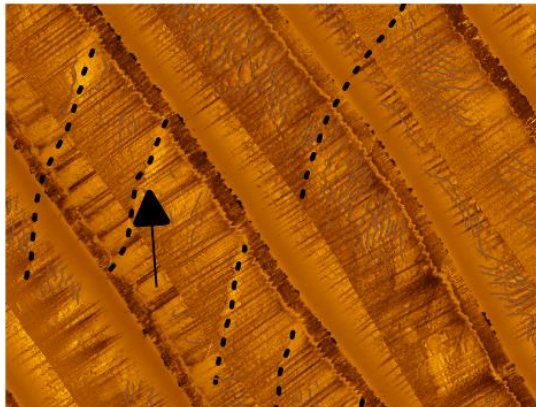
5.2.2 Padrões sonográficos das feições de fundo

As principais feições de fundo identificadas foram as Dunas Subaquosas (DS), podendo ser distinguidas das Ondas de Areia (OA), pelo tamanho aparente, pois as OA são feições maiores e mais espaçadas. Foi possível distinguir também os substratos rochosos, através da coloração mais clara (FIGURA 21).

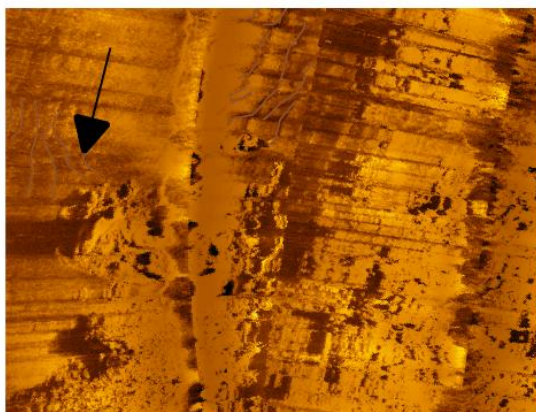
FIGURA 21 - PADRÕES SONOGRÁFICOS PARA DUNAS SUBAQUOSAS, ONDAS DE AREIA E SUBSTRATO ROCHOSO.



DUNAS SUBAQUOSAS



ONDAS DE AREIA



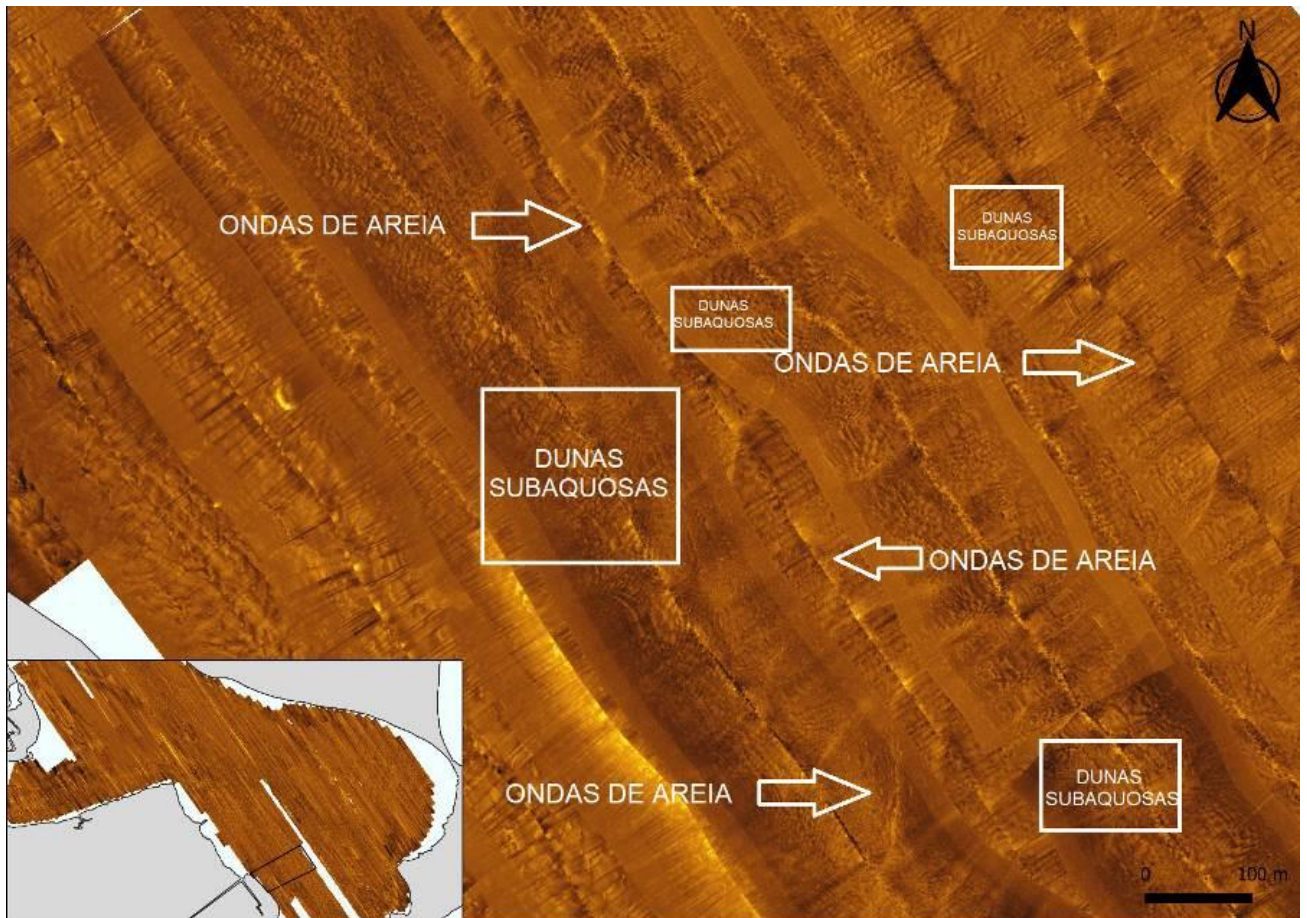
SUBSTRATO ROCHOSO

FONTE: A autora (2023).

As ondas de areia identificadas no leito da área de estudo mantiveram padrões de espaçamentos e comprimentos de cristas longas (10 a 100 m). São

feições maiores e na maior parte das feições o tamanho visível se destacava das demais feições encontradas. Geralmente as ondas de areia apresentam dunas subaquosas sobrepostas entre as distâncias das ondas de areia (FIGURA 22), as DS se apresentavam em tamanhos menores e com distâncias mais curtas entre as cristas. Algumas DS até apresentaram comprimentos de ondas equivalentes as OA, mas puderam ser distinguidas pela distância entre as cristas, que eram bem maiores do que as distâncias observadas nas DS.

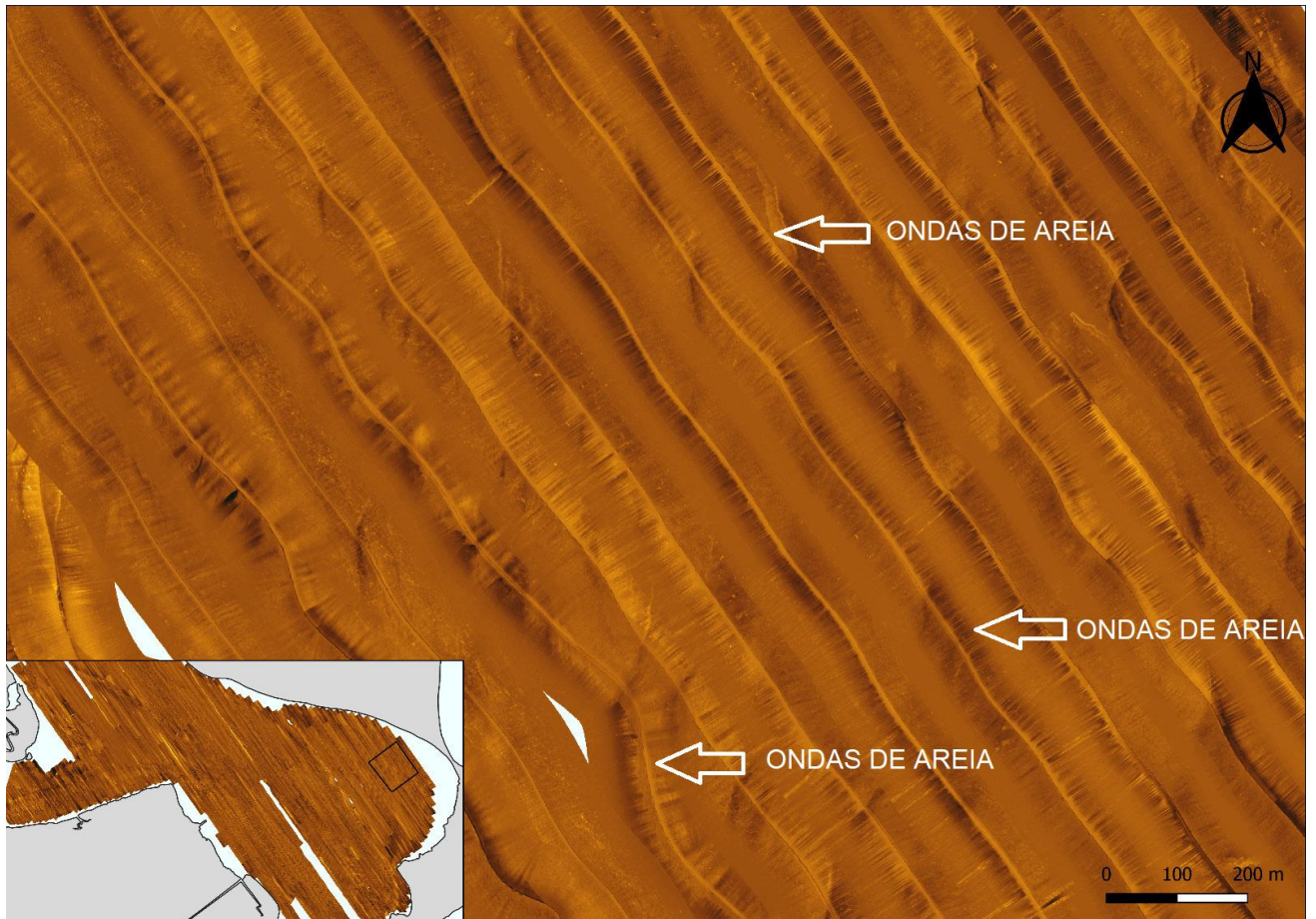
FIGURA 22 – PADRÕES DE ONDAS DE AREIA EM FRENTE AO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL.



FONTE: A autora (2023).

Na região do saco do limoeiro foram identificadas OA isoladas (FIGURA 23). A textura homogênea e sem rugosidades marcantes nas formas das imagens, permitiram constatar que essa região apresenta apenas ondas de areia, sem sobreposições de dunas subaquosas, como acontece nas demais áreas de estudo.

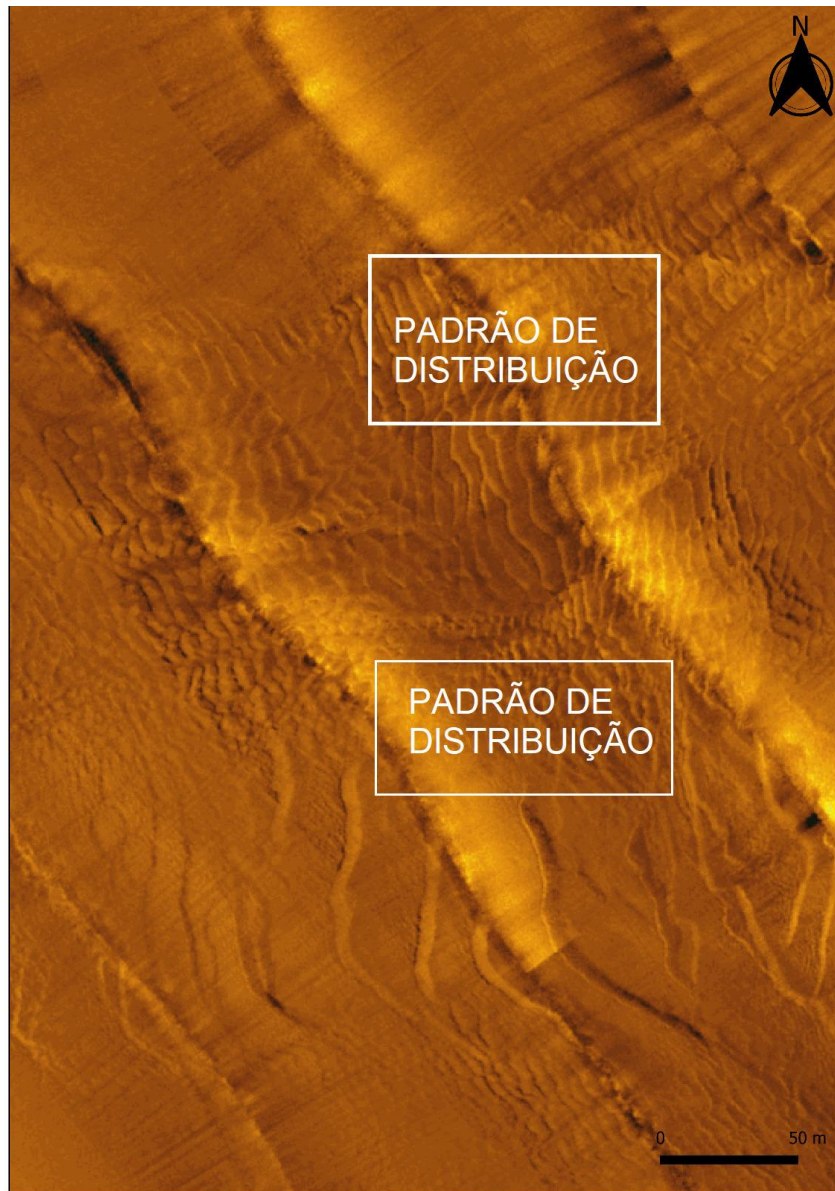
FIGURA 23 – PADRÕES DE ONDAS DE AREIA NA REGIÃO DO SACO DO LIMOEIRO.



FONTE: A autora (2023).

De forma geral, as feições encontradas apresentaram padrões de distribuição (FIGURA 24), que foram notados a partir da identificação de regiões que apresentaram constantemente feições com limites bem marcados de transição entre áreas com e sem feições. Esses padrões de distribuição apareceram mantendo linearidade e continuidade ao longo de toda área de estudo.

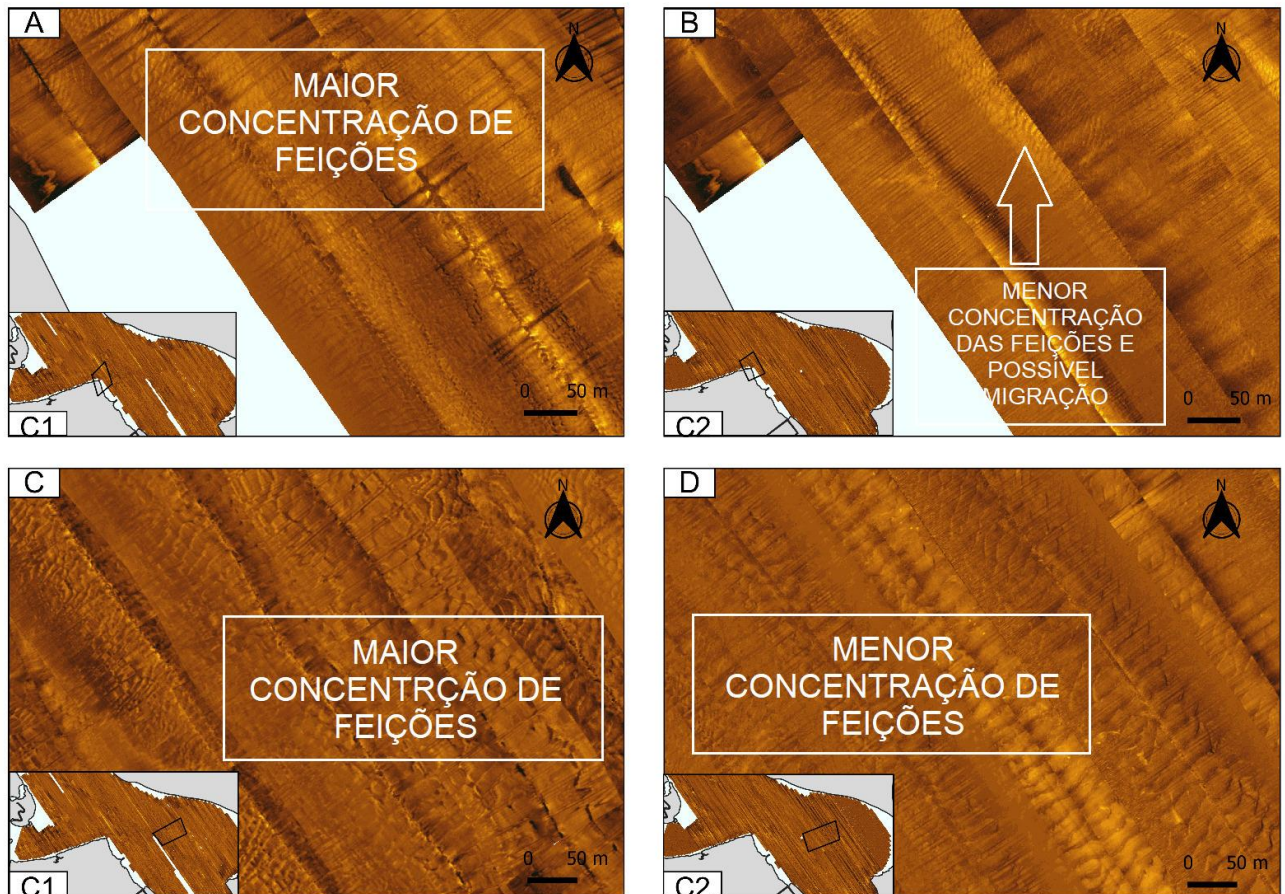
FIGURA 24 – PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES DE FUNDO.



FONTE: A autora (2023).

Foram poucas as diferenças quantitativas das feições entre a primeira e a segunda campanha. Na maior parte das vezes a diferença aparente das feições estavam relacionadas com as falhas de aquisição durante a segunda campanha, onde a análise dos trechos do saco do Limoeiro e do Canal da Cotinga foram parcialmente prejudicados pela falta de qualidade das imagens. Os trechos que tiveram aumento de feições e a qualidade das imagens estavam boas, foram selecionados e analisados separadamente. Com isso, foi possível observar uma concentração maior de dunas subaquosas na Ponta do Poço e no contorno oeste da região do saco do Limoeiro durante a primeira campanha (FIGURA 25).

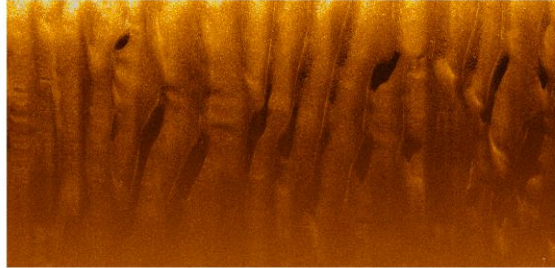
FIGURA 25 – AUMENTO DAS DUNAS SUBAQUOSAS NAS DIFERENTES CAMPANHAS, NA PONTA DO POÇO (A e B) E NO CONTORNO OESTE DO SACO DO LIMOEIRO (C e D).



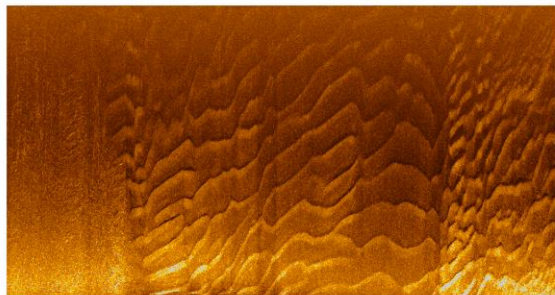
FONTE: A autora (2023).

Em reação aos padrões sonográficos observados para a classificação das cristas (FIGURA 26), baseada na classificação de Fritz e Moore (1998), foram identificados todos os tipos de cristas assimétricas descritas pelos autores, sendo elas: sinuosas, cuspidadas, linguóides e cristas irregulares ou intersectadas. As cristas sinuosas tiveram padrões de cavidades com inclinações leves e as cristas cuspidadas apresentaram cavidades mais acentuadas. Os linguóides foram pouco presentes, mas eram passíveis de distinção devido a sua crista altamente acentuada. As cristas irregulares foram aquelas que não apresentaram padrões comuns de curvatura, tendo muitas inclinações e formas em uma única crista, não sendo passíveis de identificação regular.

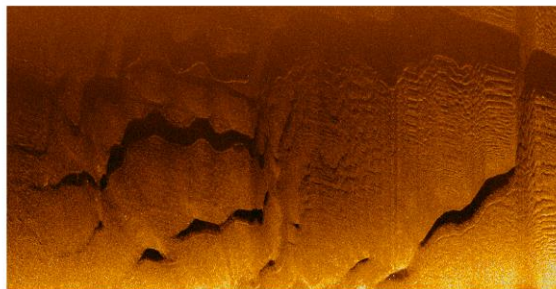
FIGURA 26 – PADRÕES DAS FORMAS DAS CRISTAS ENTRE SINUOSAS, CUSPIDADAS, LINGUÓIDES E IRREGULARES. BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.



SINUOSA (ONDULATÓRIA)



CUSPIDADO (LUNADA)



LINGUÓIDE

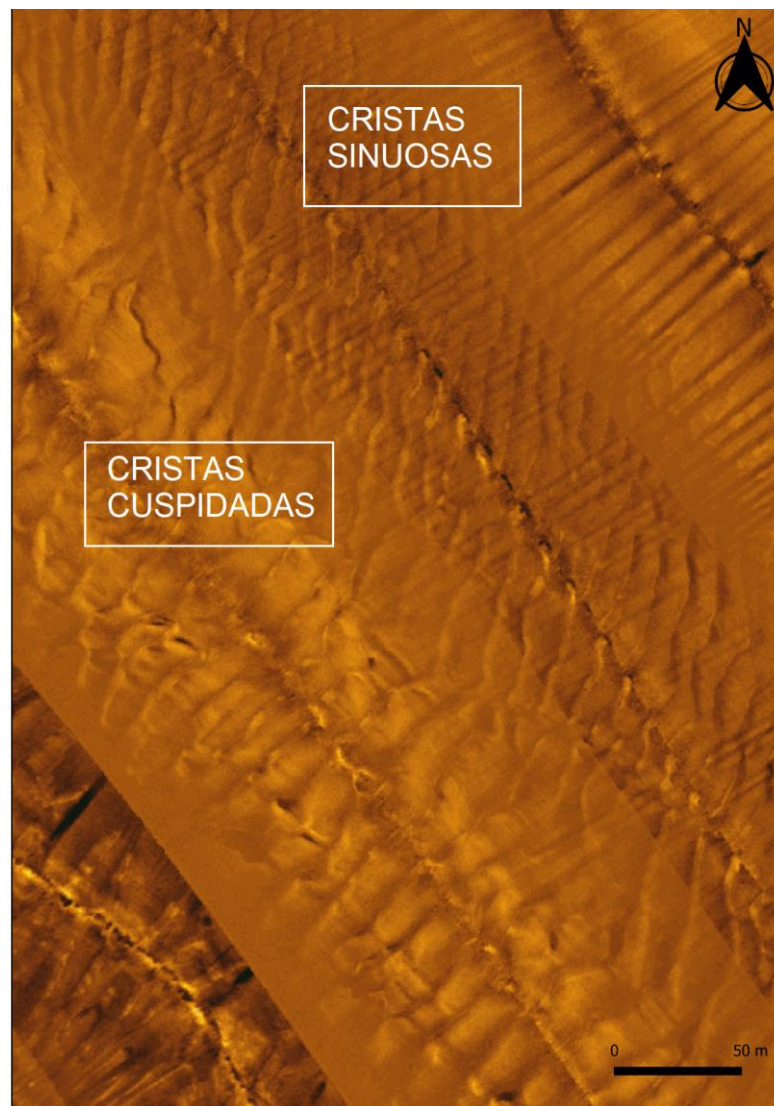


CRISTAS IRREGULARES OU INTERSECTADAS

FONTE: A autora (2023).

Por último, foram identificados padrões de transição entre as formas das cristas (FIGURA 27). Estas transições ocorreram principalmente entre cristas sinuosas e cuspidadas, onde apresentavam feições iniciando com formas de cristas cuspidadas e no decorrer na área se modificavam para cristas sinuosas, o contrário também foi observado, com cristas sinuosas sendo modificadas para cristas cuspidadas. Em alguns lugares foi possível observar mais de uma transição, com cristas se alternando entre formas cuspidadas, sinuosas e irregulares constantemente.

FIGURA 27 – TRANSIÇÃO ENTRE DUNAS COM CRISTAS CUSPIDADAS (À ESQUERDA) PARA CRISTAS SINUOSAS (À DIREITA).



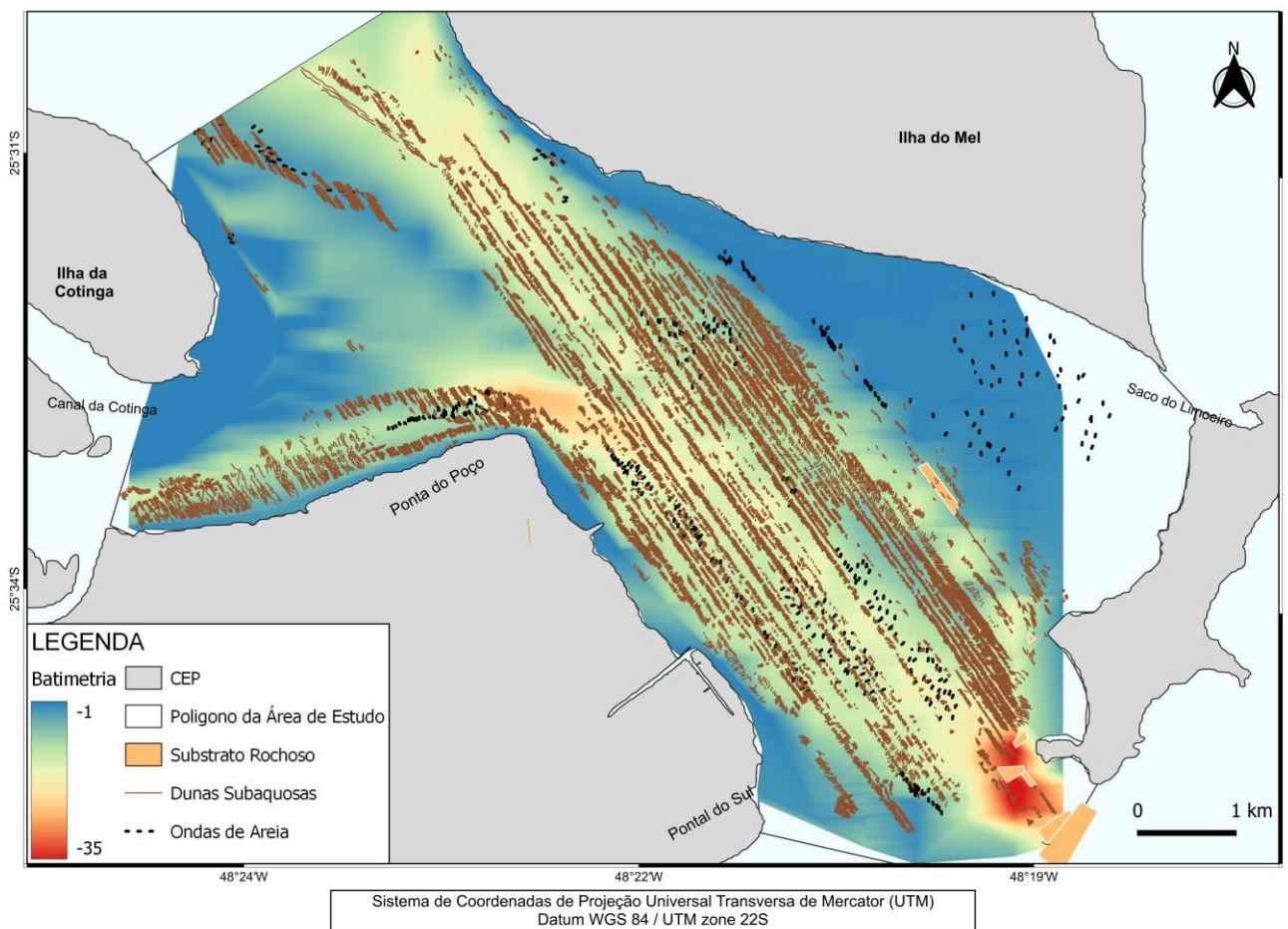
FONTE: A autora (2023).

5.3 DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES

5.3.1 Distribuição geral das feições comparadas à batimetria

A distribuição das feições ocorreu ao longo de toda a região central da desembocadura, sendo identificadas mais de vinte e cinco mil feições. Quando comparados a disposição geral das feições com a batimetria da área de estudo (FIGURA 28), nota-se que as feições se localizam principalmente nas profundidades médias de -10 a -20 m, como acontece na região do canal da Cotinga e no canal da Galheta. Uma das únicas regiões que apresentou feições em profundidades rasas entre -2 e -4 m, foi a região do saco do Limoeiro, que apresentou feições bem marcadas de ondas de areia.

FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS A BATIMETRIA.



FONTE: A autora (2023).

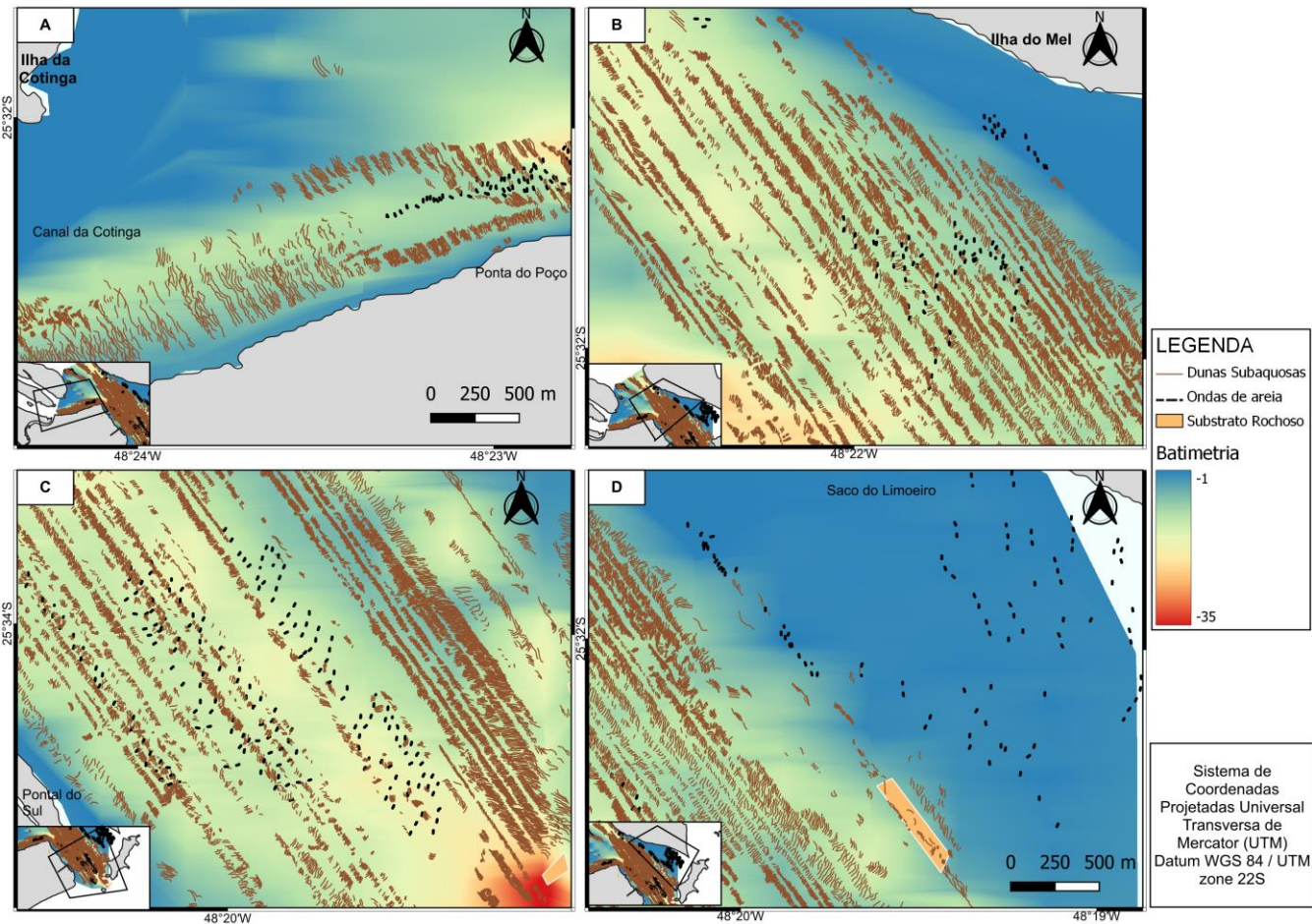
Para analisar a distribuição geral das feições de forma pormenorizada, foram retirados quatro recortes do mapa geral de distribuição (FIGURA 28), estes recortes

(FIGURA 29) contemplaram a região do canal da Cotinga; a extensão entre Ilha do Mel e Ponta do Poço; a Ilha do Mel e Pontal do Sul; e por fim, a região central da desembocadura e a porção superior do saco do Limoeiro.

As feições identificadas na região do canal da cotinga (FIGURA 29-A) estavam distribuídas principalmente em -10 m, as ondas de areia (OA) foram observadas paralelamente à margem da Ponta do Poço. Entre a Ilha do Mel e a Ponta do Poço (FIGURA 29-B) as dunas subaquosas (DS) se estenderam ao longo das profundidades médias, com a presença de ondas de areia na porção central e nas proximidades do saco do Limoeiro. Na região mais profunda (< -20 m) da Ponta do Poço, não foram identificadas grandes quantidades de feições.

Entre o balneário Pontal do Sul e a Ilha do Mel (FIGURA 29-C), as DS e OA estavam presentes ao longo de toda a extensão, apresentando maiores quantidades de DS próximo à Ilha do Mel. No trecho que apresenta profundidade próxima de -38 m, não foram identificadas feições, apenas registros de substrato rochoso. Entre o saco do Limoeiro e a porção central da desembocadura (FIGURA 29-D), foram identificadas grandes quantidades de ondas de areia, principalmente no saco do Limoeiro com -4 m, enquanto as DS estavam presentes próximas aos -10 m, próximas aos canais de profundidade média.

FIGURA 29 – RECORTES DA DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS A BATIMETRIA E ISÓBATAS. SENDO A) CANAL DA COTINGA; B) PONTA DO POÇO E ILHA DO MEL; C) PONTAL DO SUL E ILHA DO MEL; D) SACO DO LIMOEIRO.

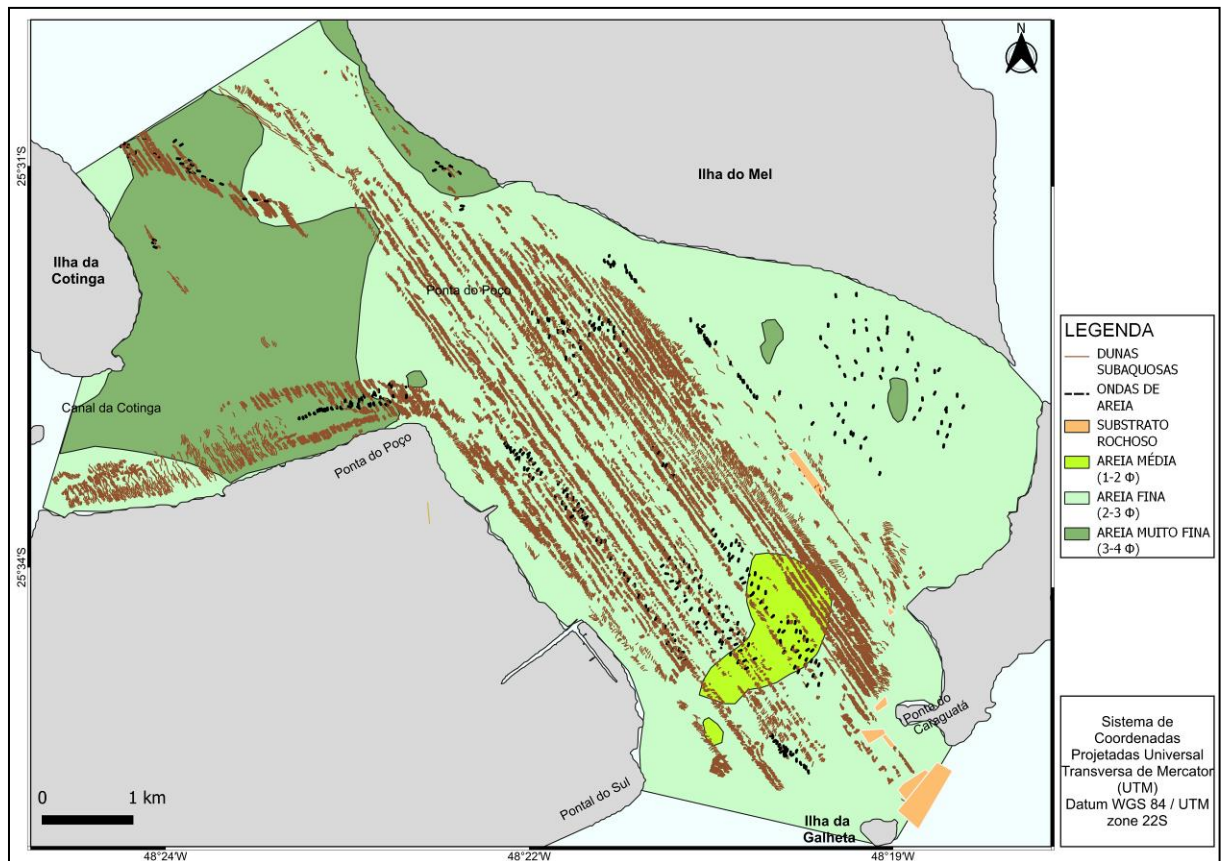


FONTE: A autora (2023).

5.3.2 Distribuição geral das feições comparadas aos sedimentos de fundo

A distribuição geral das feições relacionadas aos sedimentos de fundo (FIGURA 30) que compõe o leito da desembocadura sul do CEP, baseados nos estudos descritos por Lamour (2007), mostram predominância das feições nas áreas de areia fina. A presença de uma região com sedimentos compostos por areia muito fina é notada principalmente no canal da Cotinga e pequenas manchas próximo ao saco do Limoeiro, poucas feições foram identificadas nas áreas compostas por esses sedimentos. Além disso, encontram-se areias médias entre o balneário de Pontal do Sul e a Ilha do Mel e também apresentam menores quantidades de feições quando comparadas com regiões compostas por areias finas.

FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA SUL DO CEP, DESCRITOS POR LAMOUR (2007).



FONTE: A autora (2023).

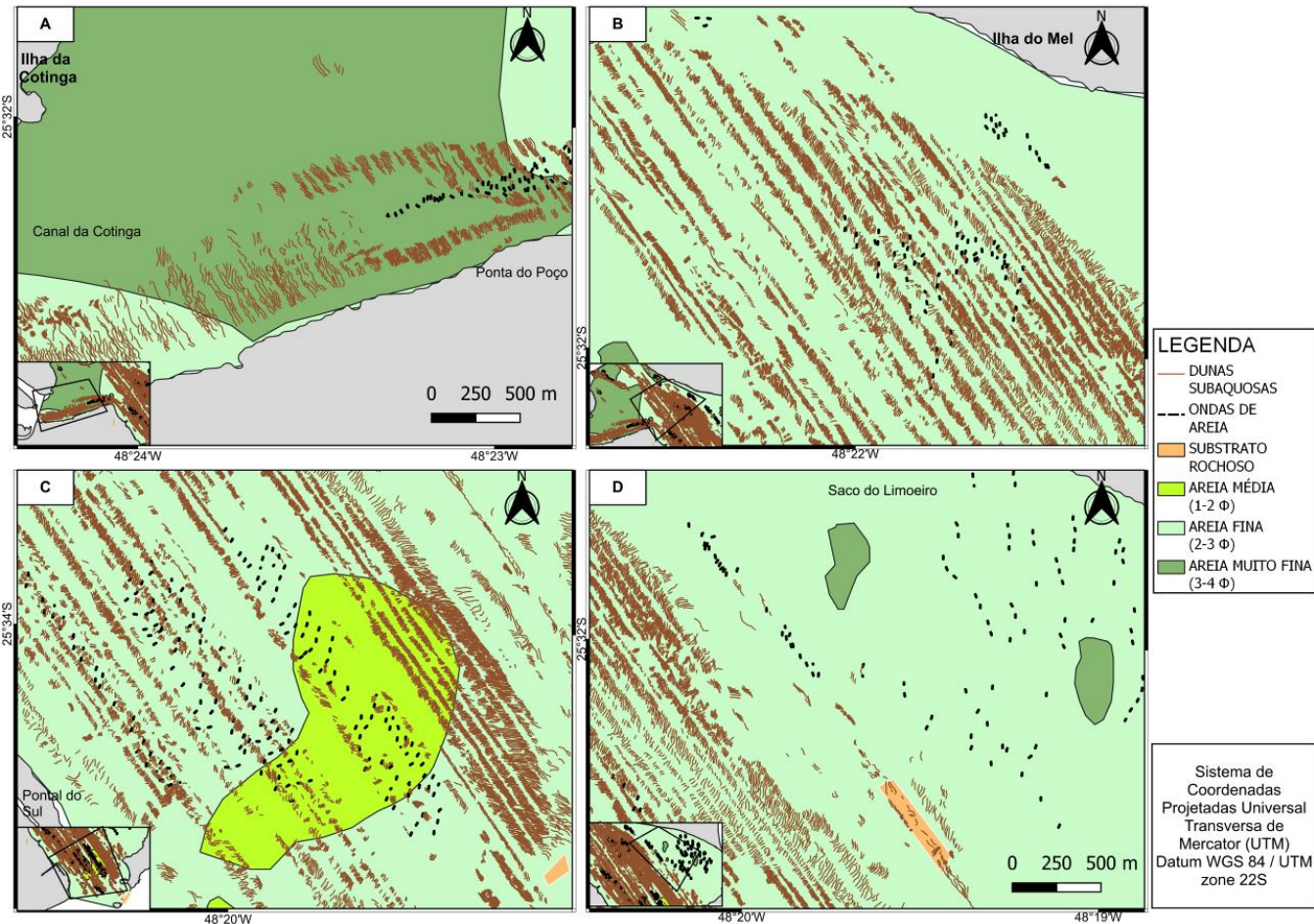
Novamente foram feitos recortes para analisar a distribuição geral das feições e sedimentos de fundo de forma pormenorizada, foram mantidos os mesmos quatro recortes do mapa geral de distribuição e sedimentos de fundo (FIGURA 30), estes recortes (FIGURA 31) continuaram contemplando a região do canal da Cotinga; a extensão entre Ilha do Mel e Ponta do Poço; a Ilha do Mel e Pontal do Sul; e por fim, a região central da desembocadura e a porção superior do saco do Limoeiro.

A região do canal da Cotinga (FIGURA 31-A) é composta predominantemente por areias muito finas. As feições ali presentes são compostas principalmente por dunas subaquosas com alguns registros de ondas de areia próximas a região da ponta do Poço. É possível notar também que em áreas com areias finas, as dunas subaquosas estavam melhores distribuídas. A região entre a

ponta do Poço e a Ilha do Mel (FIGURA 31-B) apresenta sedimentos compostos predominantemente por areias finas, tendo a presença marcante de dunas subaquosas e ondas de areia ao longo de quase toda a extensão desta região.

Entre a Ilha do Mel e o balneário Pontal do Sul (FIGURA 31-C) ocorre a presença de uma mancha de areias médias, nesta área as ondas de areias foram as principais feições observadas, com algumas dunas subaquosas. Já nas áreas com areias finas as dunas subaquosas foram observadas com uma maior frequência de distribuição. Por fim, na região entre o saco do Limoeiro e a porção central da desembocadura (FIGURA 31-D), os sedimentos foram predominantemente areias finas, com duas manchas de areias muito finas. As dunas subaquosas se concentram principalmente na porção central da desembocadura, enquanto as ondas de areias foram presentes principalmente no saco do Limoeiro, ambas com areias finas, nenhuma feição foi observada nas áreas compostas por areias muito finas.

FIGURA 31 – RECORTES DA DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS FEIÇÕES DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA SONOGRÁFICA, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA CEP, DESCRITOS POR LAMOUR (2007). SENDO A) CANAL DA COTINGA; B) PONTA DO POÇO E ILHA DO MEL; C) PONTAL DO SUL E ILHA DO MEL; D) SACO DO LIMOEIRO.



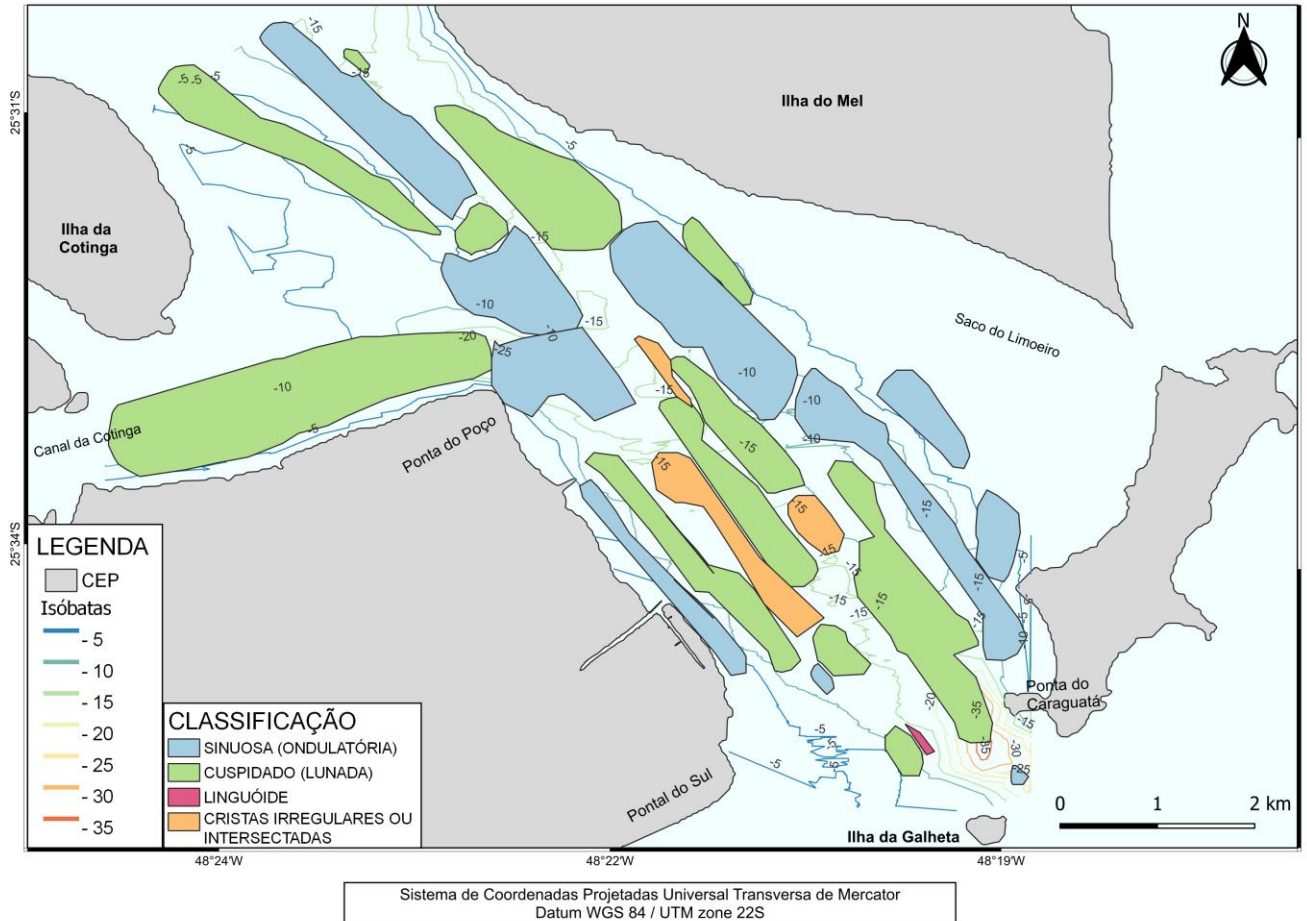
FONTE: A autora (2023).

5.3.3 Distribuição das classificações das cristas das feições

Durante a primeira campanha (FIGURA 32), as cristas sinuosas ocuparam principalmente a região da margem oeste do saco do limoeiro, alguns trechos em frente ao balneário Pontal de Sul e também na região frontal do Canal da Cotonga. Já as cristas cuspidadas apareceram com mais frequência na margem sul do canal da Cotonga e na região entre Pontal do Sul e a Ilha do Mel. Quando comparamos com a profundidade, podemos notar que as cristas sinuosas se formam principalmente em profundidades próxima de -10 m, exceto na região mais profundas em frente a Ponta do Poço, que também apresentou cristas sinuosas.

Enquanto as cristas cuspidadas foram observadas em regiões de profundidades desde -6 até -28 m.

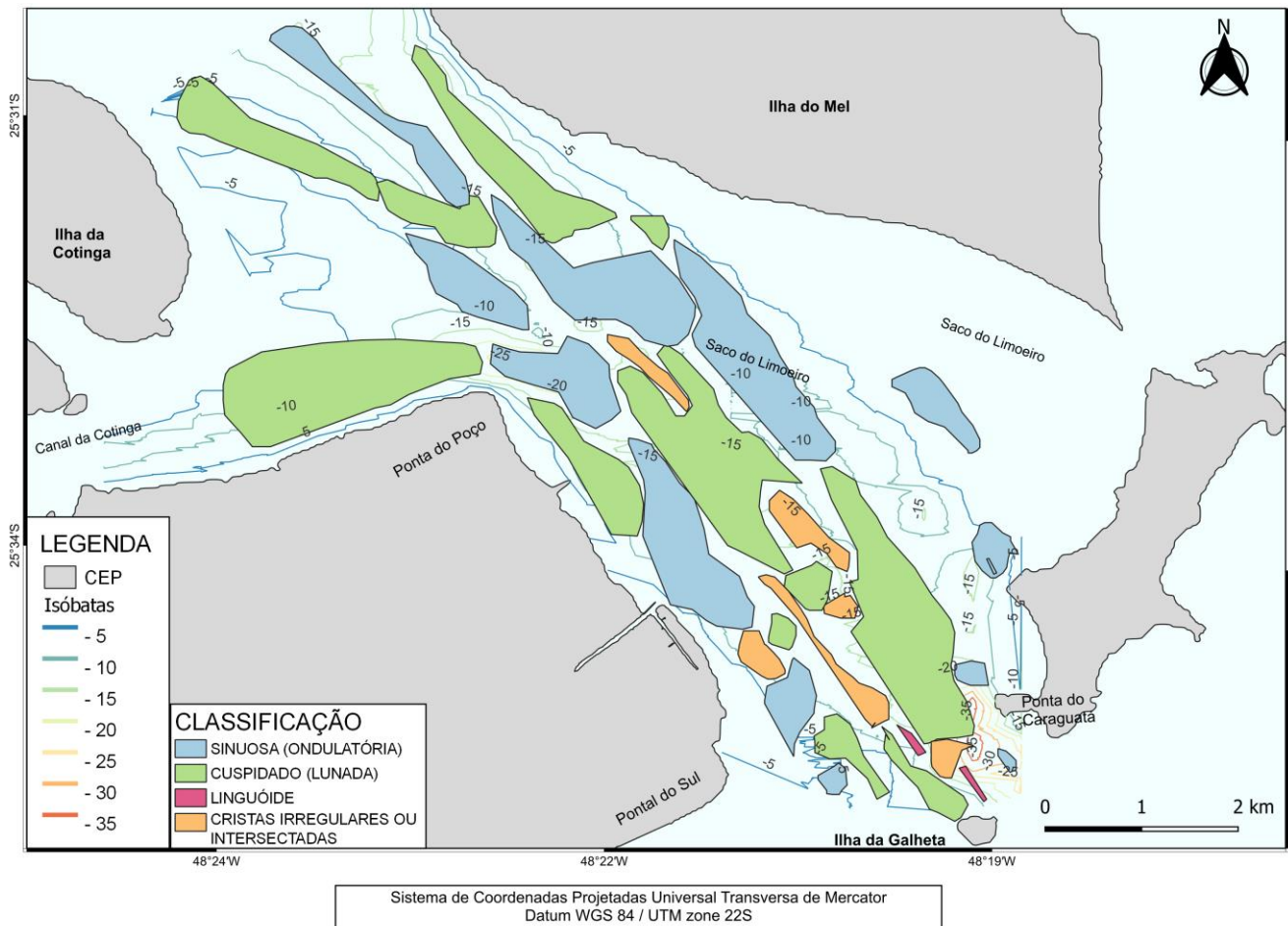
FIGURA 32 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DAS CRISTAS SOBREPOSTAS A BATIMETRIA, NA PRIMEIRA CAMPANHA (C1), BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.



FONTE: A autora (2023).

Em relação a segunda campanha (FIGURA 33), foi possível observar que a presença de dunas com cristas cuspidadas foi mais presente, quando comparadas com a primeira campanha. Logo, as principais formas de cristas se mantiveram entre cuspidadas e sinuosas, com alguns trechos de cristas irregulares ou intersectadas. A presença de linguóides também foi notada e ocorreu na desembocadura, entre a Ilha da Galheta e a Ilha do Mel.

FIGURA 33 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DAS CRISTAS SOBREPOSTAS A BATIMETRIA, NA SEGUNDA CAMPANHA (C2), BASEADA NA CLASSIFICAÇÃO DE FRITZ; MOORE, 1988.

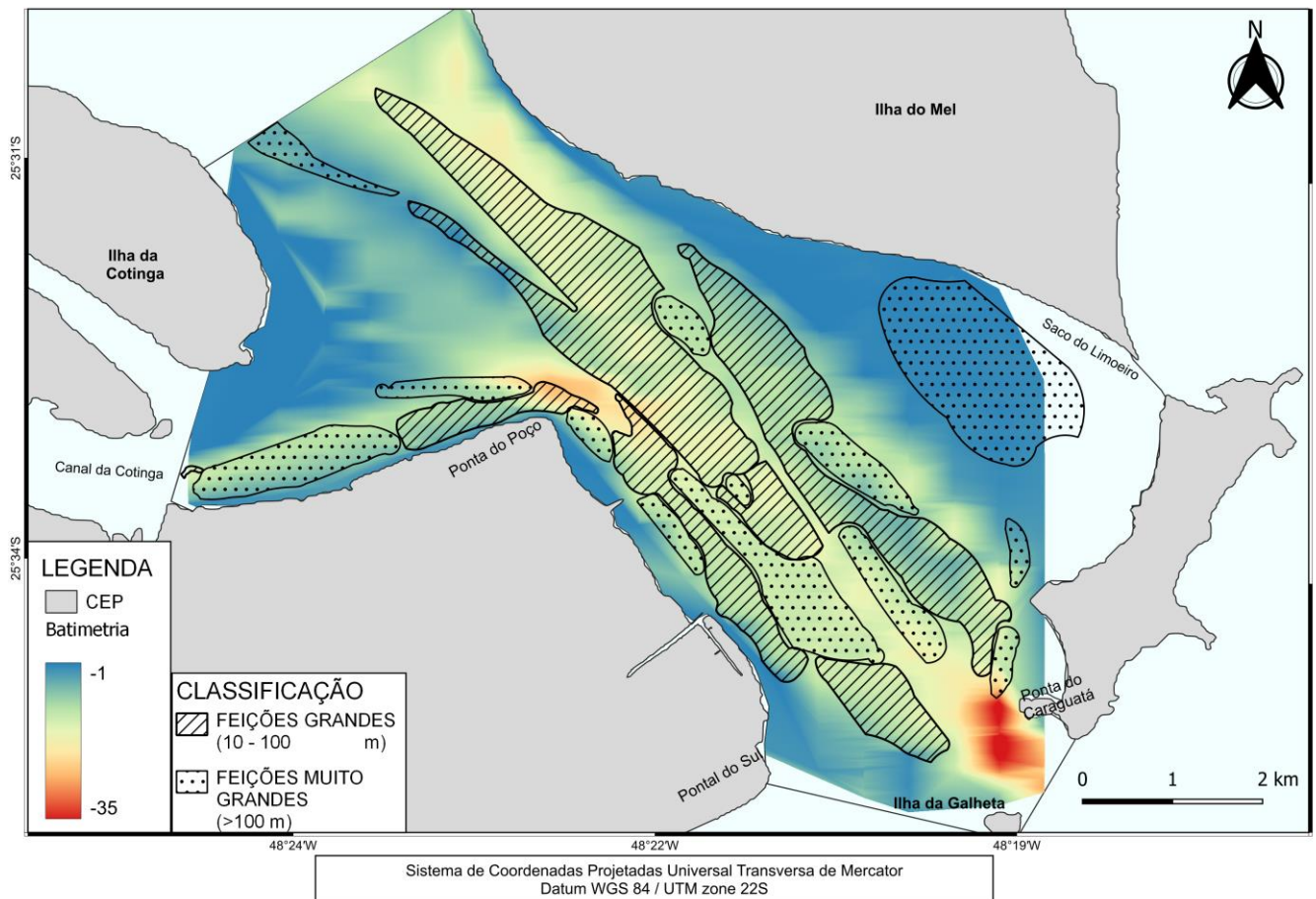


FONTE: A autora (2023).

5.3.4 Distribuição dos tamanhos de comprimentos de cristas das feições

A distribuição dos tamanhos de comprimentos médios das cristas das feições (FIGURA 34), baseados na TABELA 1, indicou forte predominância de feições grandes (10 – 100 m) e muito grandes (> 100 m). Algumas poucas feições médias (5 – 10 m) foram identificadas, mas estavam sobrepostas entre as feições grandes e muito grandes. As feições muito grandes, na grande maioria das vezes, apresentavam feições menores entre suas cristas, estes padrões já tinham sido descritos nas análises anteriores deste trabalho. As feições grandes ocuparam principalmente a região central da área de estudo, nas profundidades médias. Enquanto as feições muito grandes foram notadas em várias profundidades, desde as áreas rasas do saco do limoeiro até as áreas mais profundas de canais.

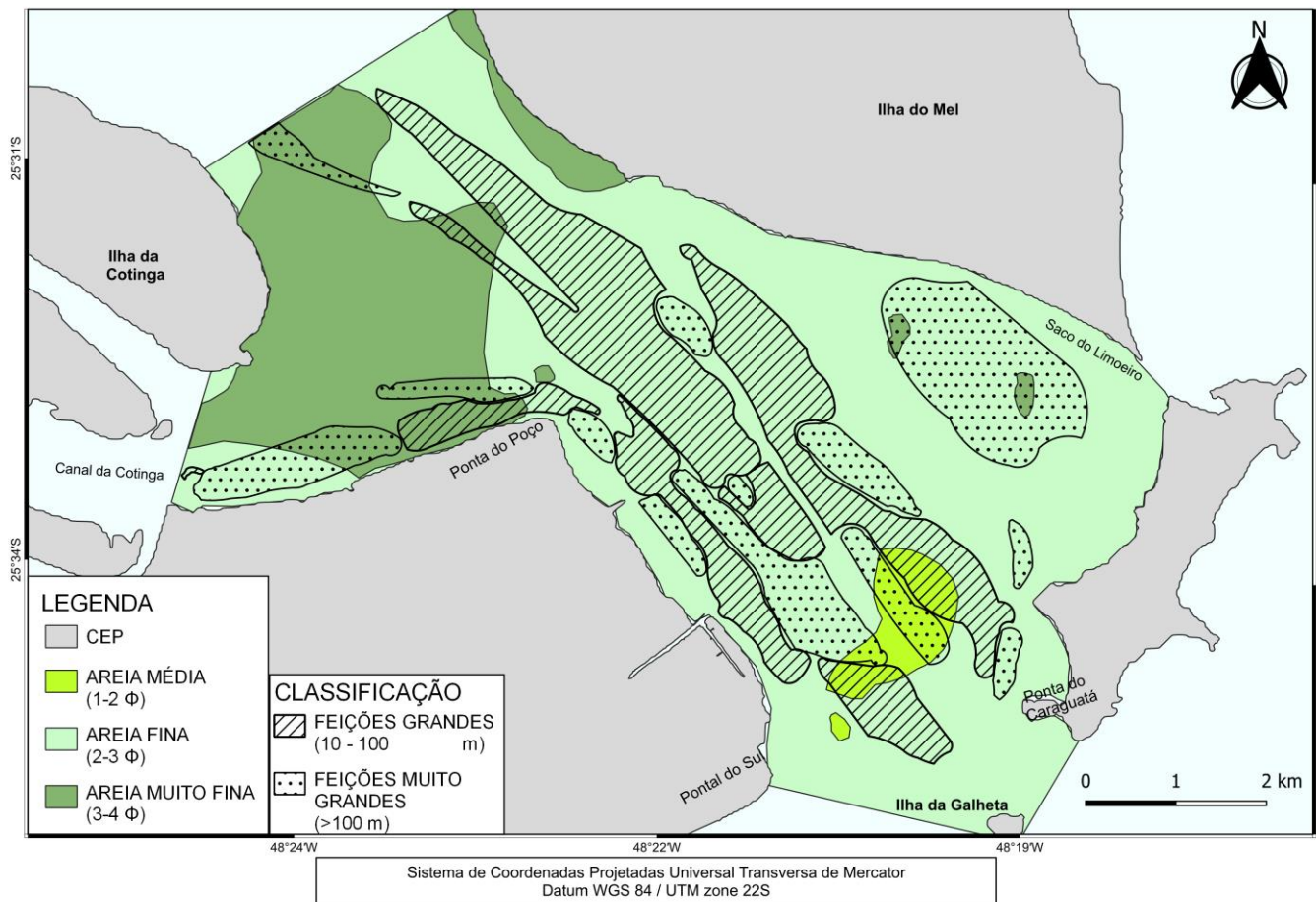
FIGURA 34 – DISTRIBUIÇÃO DOS TAMANHOS DOS COMPRIMENTOS DAS CRISTAS DAS FEIÇÕES, SOBREPOSTAS AS ISÓBATAS, BASEADA NOS TAMANHOS PROPOSTOS POR ASHLEY (1990).



FONTE: A autora (2023).

Em relação aos tamanhos de comprimento das cristas comparadas com os sedimentos de fundo (FIGURA 35), podemos notar que tanto as feições grandes como as feições muito grandes estavam presentes principalmente em áreas compostas por areias finas. A região composta por areias médias apresentou principalmente feições muito grandes, estando relacionadas a presença constante de ondas de areia nesta localidade.

FIGURA 35 – DISTRIBUIÇÃO DOS TAMANHOS DOS COMPRIMENTOS DAS CRISTAS DAS FEIÇÕES, SOBREPOSTAS AO MAPA DE DIÂMETRO MÉDIO (Φ) DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA DESEMBOCADURA SUL, BASEADA NOS TAMANHOS PROPOSTOS POR ASHLEY (1990).



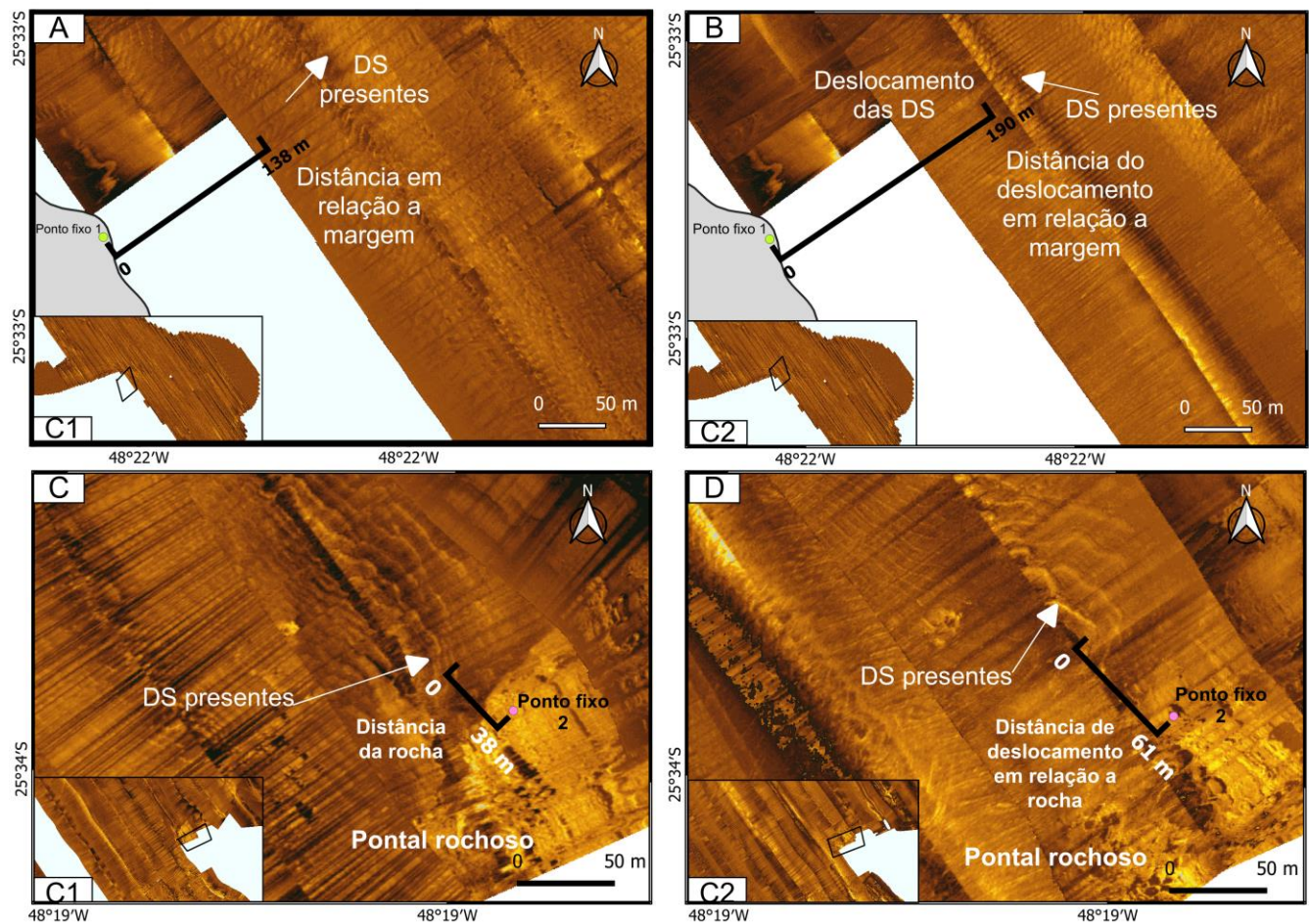
FONTE: A autora (2023).

5.4 DESLOCAMENTO DAS FEIÇÕES

Duas regiões apresentaram deslocamentos bem marcados e com boa qualidade nas imagens para identificação da movimentação. A primeira estava localizada em frente a Ponta do Poço (FIGURA 36 A e B) e teve seu deslocamento calculado em relação ao ponto fixo 1 (25°33'S e 48°22'W), próximo à margem da imagem sonográfica. Durante a primeira campanha a distância inicial era de 40 m e na segunda campanha a distância em relação a margem foi de 137 m. Com isso, considera-se que o deslocamento destas feições em um período de 6 meses foi de aproximadamente 53 m, tendo um deslocamento médio mensal de aproximadamente 8,83 m.

A segunda região estava localizada próximo à ilha do Mel (FIGURA 36 C e D), em frente a Pontal do Caraguatá, a presença de um pontal rochoso submerso nesta região garante maior segurança das medidas de deslocamento, onde foi estabelecido o ponto fixo 2 ($25^{\circ}34'S$ e $48^{\circ}19'W$). A distância inicial das dunas subaquosas em relação a rocha era de 38 m na primeira campanha, enquanto na segunda à distância foi de 61 m. Logo, o deslocamento para um período de 6 meses foi de aproximadamente 23 m, com deslocamento médio mensal de aproximadamente 3,83 m.

FIGURA 36 – DESLOCAMENTO EM METROS DAS DUNAS SUBAQUOSAS NAS DIFERENTES CAMPANHAS, NA PONTA DO POÇO (A e B) E EM FRENTE A PONTA DO QUARAGUATÁ (C e D).



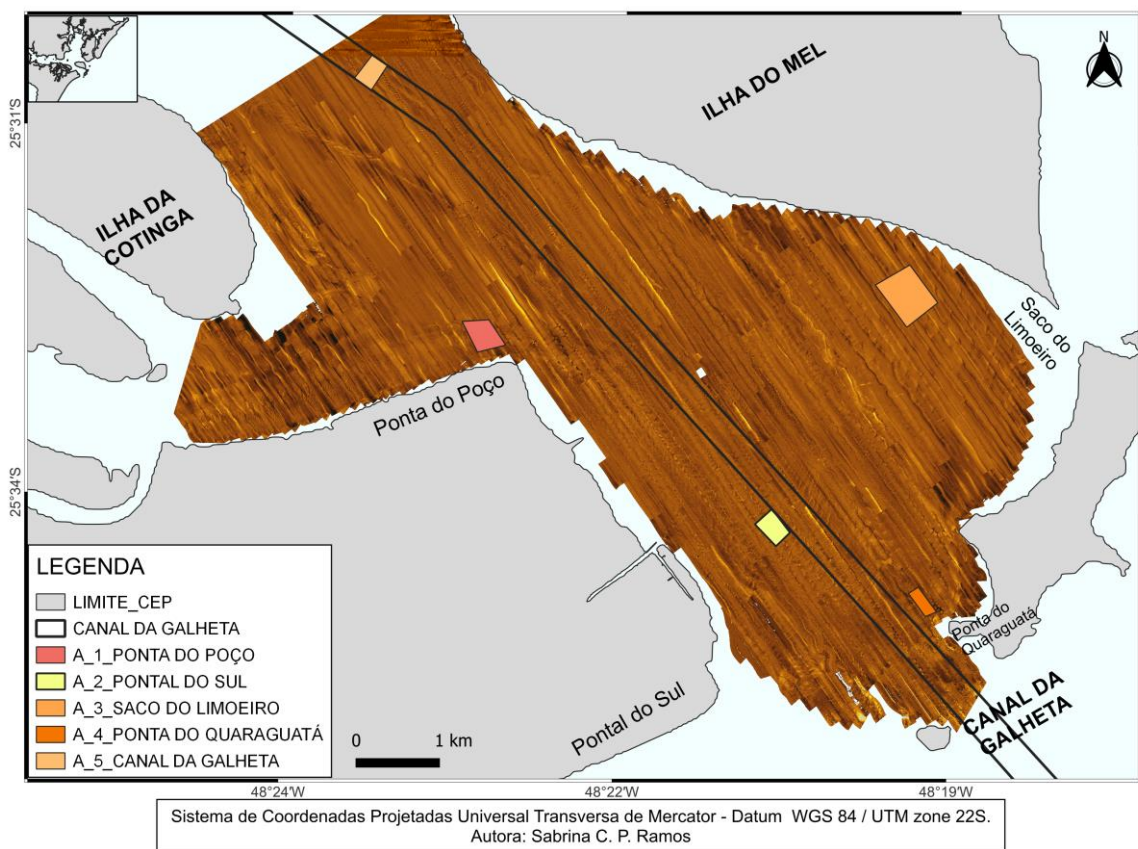
FONTE: A autora (2023).

5.5 ANÁLISE DAS ÁREAS ESPECÍFICAS

Dentro da área de estudo foram escolhidas pela autora cinco recortes dos sonogramas para uma descrição mais detalhada das feições presentes (FIGURA

37)., tais como, tamanho, distribuição e direção das feições de fundo distribuídas no leito da desembocadura sul do CEP. Estas regiões foram escolhidas de acordo com a localização de interesse, qualidade das feições presentes e da resolução das imagens sonográficas, e foram delimitadas por polígonos. Essas áreas se encontravam na região da Ponta do Poço; em frente ao balneário Pontal do Sul; na região do saco do Limoeiro; na Ponta do Caraguatá, localizada na Ilha do Mel; e, por último, dentro do canal da Galheta, sentido interior do estuário.

FIGURA 37 – LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS ESCOLHIDAS PARA ANÁLISE DETALHADA DAS FEIÇÕES DE FUNDO.



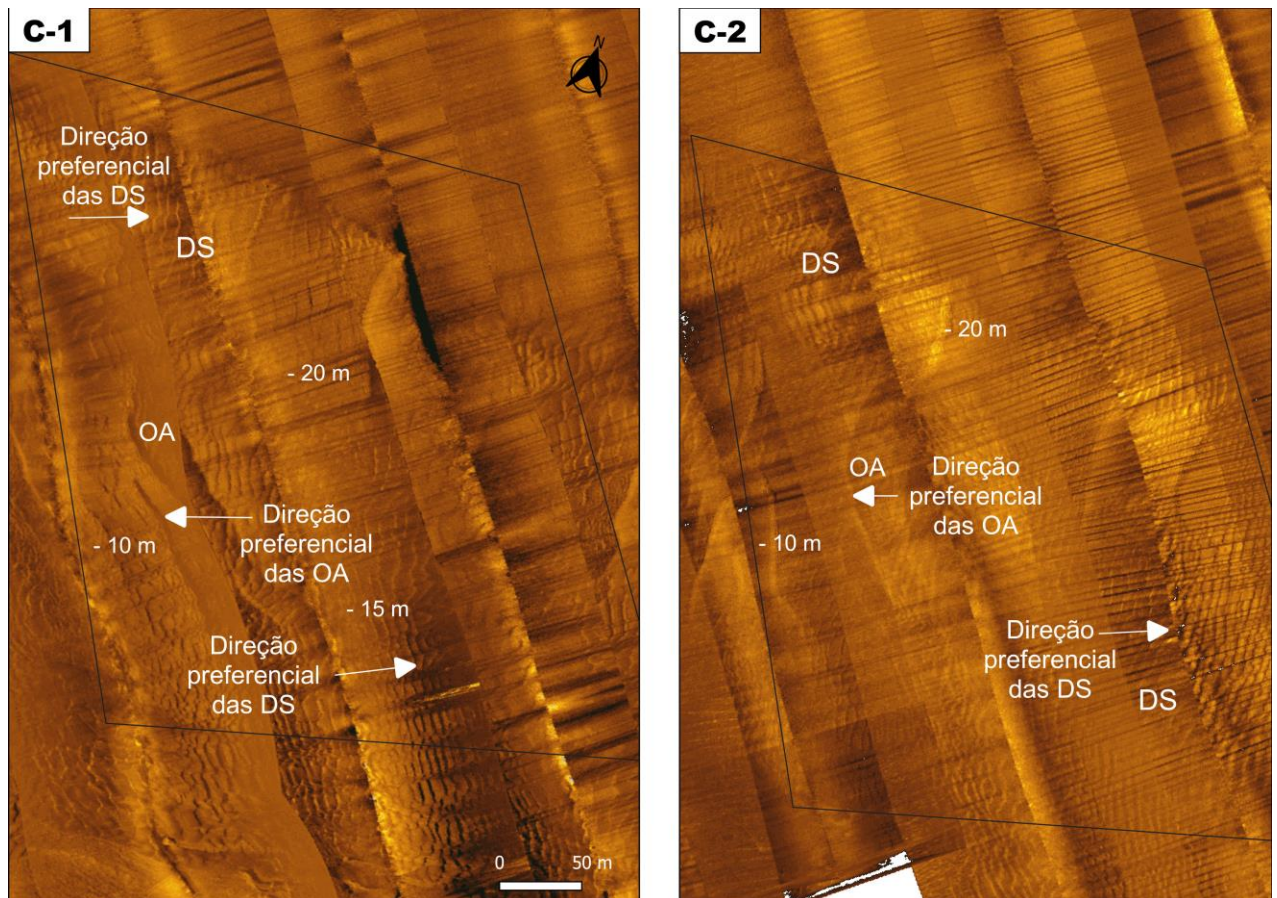
FONTE: A autora (2023).

5.5.1 Ponta do Poço

Na região da Ponta do Poço (FIGURA 38) foram identificadas ondas de areia e dunas subaquosas. As dunas subaquosas estão presentes principalmente em profundidades entre -15 e -20 m, tiveram tamanho variando em 60 e 80 m, distância entre cristas de 5 a 10 m e a direção principal foi em sentido as correntes de maré de vazante.

As ondas de areia foram identificadas, com a presença de dunas subaquosas entre suas cristas, a maior onda de areia apresentou cristas com comprimento de 228,42 m, enquanto as demais giraram em torno de 100 m, com distância entre cristas em torno dos 30 m. A direção preferencial das cristas no sentido da maré de enchente, contrariando os sentidos das dunas subaquosas.

FIGURA 38 – POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DA PONTA DO POÇO, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA E DUNAS SUBAQUOSAS, SENDO PRIMEIRA CAMPANHA #C-1 E SEGUNDA CAMPANHA #C-2.



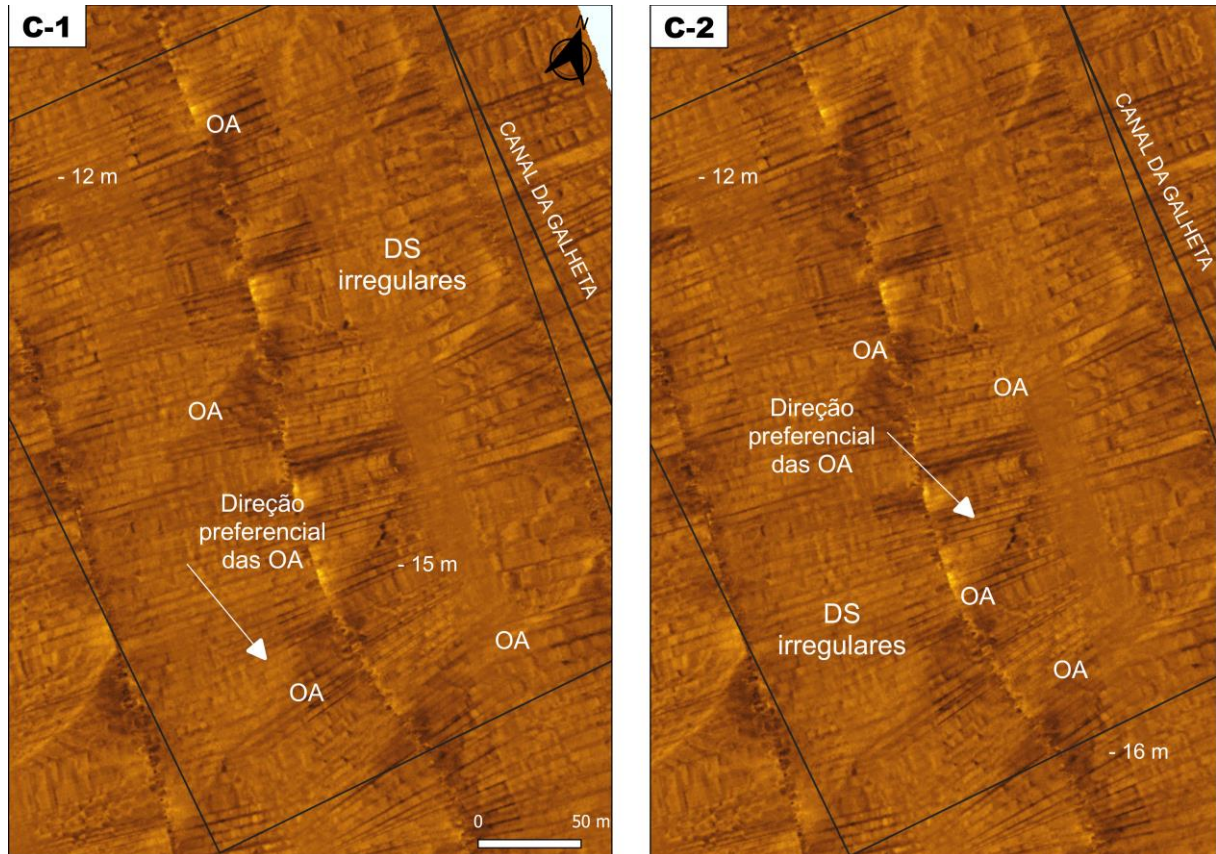
FONTE: A autora (2023).

5.5.2 Pontal do Sul

A região em frente ao balneário Pontal do Sul (FIGURA 39), também contou com a presença tanto de ondas de areia quanto de dunas subaquosas. As maiores cristas de ondas de areia tiveram espaçamentos de 162,28 m e 194,01 m, distanciadas a 99,69 m. As menores variaram em torno dos 50 m. Com profundidade variando entre 12 e 16 m. A direção principal destas feições foi no sentido da maré vazante, com uma inclinação suave no sentido do canal da Galheta. Entre as cristas

de OA, foram observadas diversas cristas irregulares de dunas subaquosas, cujos espaçamentos e distância não foram passíveis de quantificação.

FIGURA 39 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO EM FRENTE AO BALNEÁRIO PONTAL DO SUL, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA E DUNAS SUBAQUOSAS, SENDO PRIMEIRA CAMPANHA #C-1 E SEGUNDA CAMPANHA #C-2.

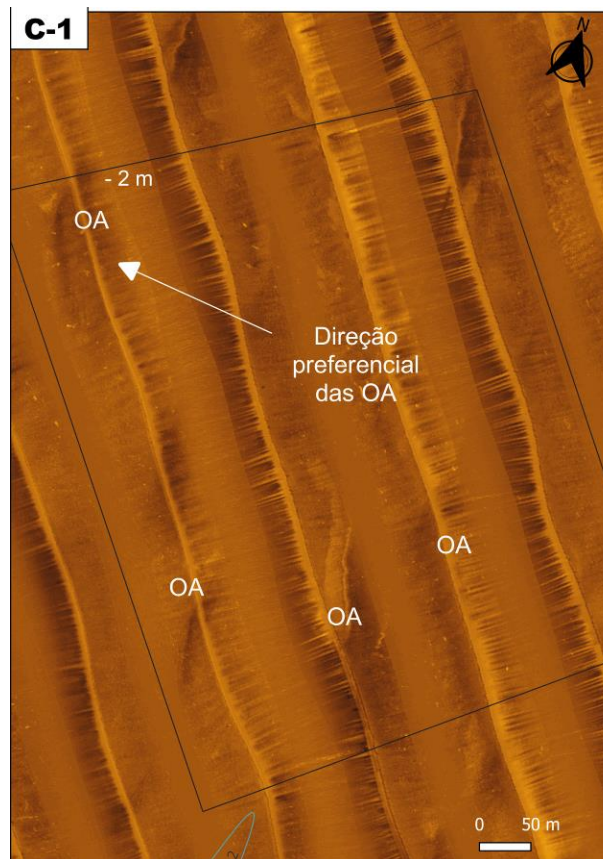


FONTE: A autora (2023).

5.5.3 Saco do Limoeiro

A região do saco do Limoeiro (FIGURA 40), conta apenas com feições de ondas de areia. A profundidade observada foi de -2 m, sem grandes variações de declividade. Foram identificadas oito ondas de areia, com espaçamentos longitudinais das cristas de 164,45 m; 131,40 m; 129,1 m; 150,38 m; 118,48 m; 87,79 m; 136,17 m; e 136,65 m. As distâncias entre as cristas variaram em torno dos 150 m. Em relação a direção, a maior parte das ondas de areia desta região são direcionadas para a margem oeste do saco do Limoeiro, sentido interior do estuário.

FIGURA 40 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DO SACO DO LIMOEIRO, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE ONDAS DE AREIA, SENDO PRIMEIRA CAMPANHA #C-1.



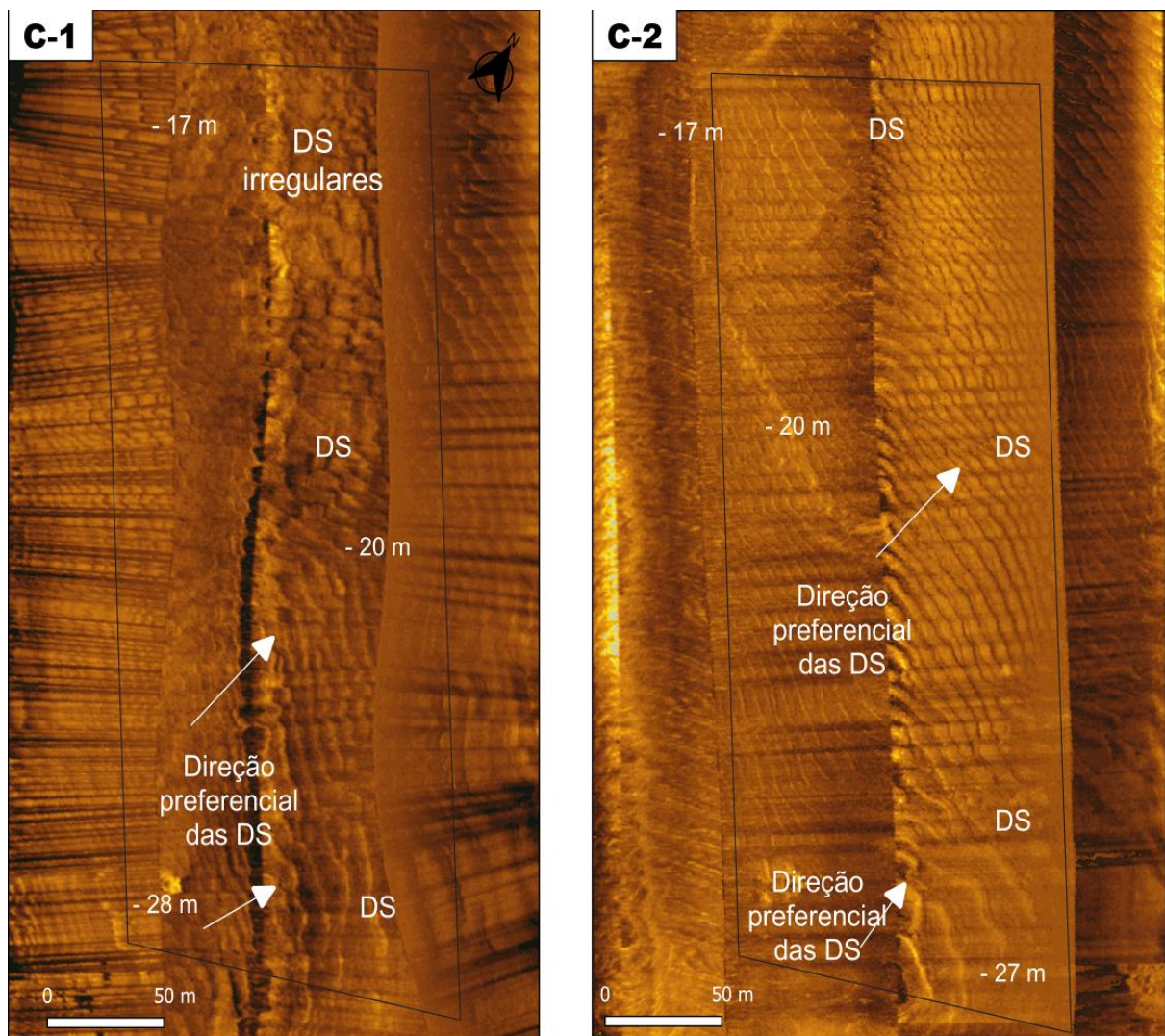
FONTE: A autora (2023).

5.5.4 Ponta do Caraguatá

A ponta do Caraguatá (FIGURA 41), localizada na Ilha do Mel, apresentou os maiores valores de profundidade entre as regiões específicas, entre- 17 a -28 m. Não foram observadas ondas de areia nesta região, apenas dunas subaquosas. Durante a primeira campanha foi possível observar a presença de DS irregulares, na porção superior do polígono.

Os espaçamentos das cristas na porção inferior do polígono ficaram em média dos 100 m, com distância entre cristas variando entre 5 e 10 m. Enquanto as dunas subaquosas localizadas na porção superior do polígono, apresentaram menores distanciamentos entre as cristas, com valores em torno de 4 m. A diferença entre os valores das distâncias das cristas pode ser observada no sentido preferencial da direção das feições, com as distâncias maiores na parte inferior e as distâncias menores na porção superior do polígono.

FIGURA 41 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DA PONTA DO CARAGUATÁ, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE DUNAS SUBAQUOSAS, SENDO PRIMEIRA CAMPANHA #C-1 E SEGUNDA CAMPANHA #C-2.



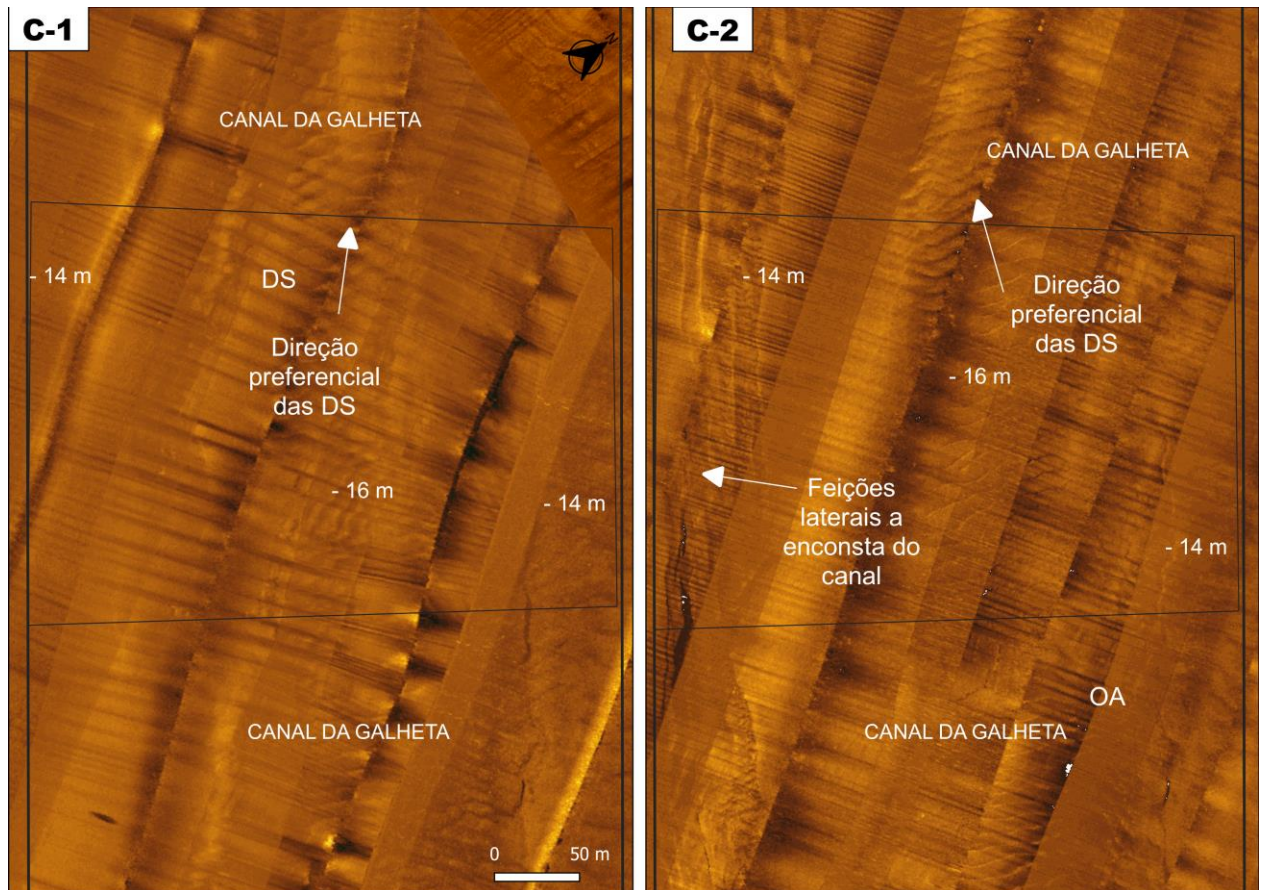
FONTE: A autora (2023).

5.5.5 Canal da Galheta

O polígono delimitado para o canal da Galheta (FIGURA 42), está localizado na porção superior da área de estudo, sendo observadas apenas dunas subaquosas e em poucas quantidades. Os espaçamentos longitudinais das cristas giraram em torno de 50 m com distâncias entre cristas variando entre 8 e 10 m. A direção principal destas feições foi sentido interior do estuário, ou seja, no sentido da corrente de maré enchente. Contrariando a outra porção do canal, ao leste, que apresenta feições voltadas para a corrente de maré vazante. Além disso, durante a segunda campanha, foi possível observar a presença de feições marginais ao canal,

com comprimentos de 1.647,84 m, com características bem distintas das encontradas nas demais localidades da área de estudo. Estas feições não foram identificadas pois não se enquadraram nos métodos classificativos deste trabalho.

FIGURA 42 - POLÍGONO DAS FEIÇÕES DE FUNDO NA REGIÃO DO CANAL DA GALHETA, CONTENDO PROFUNDIDADE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DAS CRISTAS DE DUNAS SUBAQUOSAS, SENDO PRIMEIRA CAMPANHA #C-1 E SEGUNDA CAMPANHA #C-2.



FONTE: A autora (2023).

6 DISCUSSÕES

Este trabalho fez uma análise sobre a distribuição e classificação das feições de fundo presentes na desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, os resultados foram apoiados nos dados de batimetria e sedimentos de fundo. A batimetria da área de estudo apresentou variações significativas das profundidades, estando relacionadas às planícies de marés nas áreas mais rasas e aos canais naturais e dragados nas profundidades maiores. O canal dragado apresentou profundidades entre -15 e -17 m. Os dois trechos que apresentaram profundidades elevadas (> -20 m), na ponta do Poço e próxima a ponta do Caraguatá, são naturais e apresentam aumento da profundidade em decorrência das velocidades mais elevadas de correntes de maré que atingem estas áreas (MARONE et al., 1997). A maior parte das feições foram observadas em profundidades próxima de -10 m. Logo, pode-se associar a presença de feições de fundo, principalmente dunas subaquosas, com as profundidades médias do estuário (-5 a -15 m). Exceto pela região do saco do Limoeiro que, mesmo com baixas profundidades (-2 a -4 m), apresentou formações bem específicas de ondas de areia. A presença destas feições podem ser associadas aos fluxos motivadores de formação, onde geram dunas subaquosas sob fundos com velocidade média do fluxo próximas de 0.4 m.s^{-1} e ondas de areia sob fundos com velocidade média do fluxo maiores.

A distribuição das feições de fundo, evidenciou que as feições se estenderam por quase toda a região da área de estudo, sendo dominadas por ondas de areias e dunas subaquosas. As dunas subaquosas não foram identificadas nas margens da área de estudo, devido as profundidades menores e ao acesso do sonar de varredura lateral nestas áreas, principalmente na extensão da margem noroeste próximo à Ilha da Cotinga, que apresenta baixa profundidade (- 2 m). Em relação às ondas de areia, a presença foi notória na região do saco do Limoeiro e em trechos específicos da região central da desembocadura sul, principalmente em frente ao balneário Pontal do Sul. Vale ressaltar que os levantamentos hidrodinâmicos realizados no saco do Limoeiro, mostraram que as correntes de maré mais intensas são de $0,46 \text{ m.s}^{-1}$, mantendo médias nos períodos de vazante de $0,31 \text{ m.s}^{-1}$ (LAMOUR, 2007). Estas condições proporcionam a formação das OA presentes nesta região.

O diâmetro médio (\emptyset) dos sedimentos de fundo, presentes nas áreas com feições, variam entre areias médias a muito finas (LAMOUR, 2007). As areias finas dominam quase toda a região, enquanto manchas de areias médias são notadas em um trecho do canal da Galheta, próximo à Ilha do Mel. As areias muito finas são encontradas na região do saco do Limoeiro e no canal da Cotinga. Estas características sedimentares também estão associadas com a distribuição de feições encontradas neste trabalho. As DS estão relacionadas aos sedimentos com granulometria de areia muito fina e média e com velocidades média do fluxo entre 0,2 e 0,6 m.s⁻¹, enquanto as OA estão relacionadas às areias finas e médias e velocidades média do fluxo acima de 0,4 m.s⁻¹. A profundidade entra como um fator importante, pois a velocidade média dos fluxos geralmente está associada as diferenças batimétricas, proporcionando a presença de feições de fundo. O conjunto de todos esses fatores (tipo de sedimento, velocidade média do fluxo e profundidade) é responsável pela presença de padrões de distribuição, observados nos sonogramas. Em ambas as campanhas as dunas subaquosas mantiveram padrões de distribuição, apresentando uma certa linearidade em todos os trechos onde estavam presentes.

Na desembocadura sul do CEP foram identificadas todas as formas de cristas (sinuosas, cuspidadas, linguóides e irregulares), descritas no trabalho de Fritz & More (1988). A maior parte das feições identificadas se enquadraram na classificação de cristas sinuosas e cuspidadas. Tanto na primeira, quanto na segunda campanha, esses dois tipos de cristas foram encontrados em profundidades entre -10 e -20 m. São cristas assimétricas e se formam em ambientes com velocidade média do fluxo próxima de 0,4 m.s⁻¹, em areias muito finas até areias médias. O que está de acordo com o esperado para a sedimentologia e a hidrodinâmica do local. Tendo a presença das cristas sinuosas relacionadas à uma velocidade média do fluxo mais baixa, próximo dos 0.3 m.s⁻¹, as cristas cuspidadas relacionadas a um aumento na velocidade do fluxo e as cristas linguóides estando presentes em trechos com fluxos mais intensos, como é o caso do trecho com as maiores profundidades e fluxos de correntes, entre a Ilha do Mel e a Ilha da Galheta.

As cristas irregulares, foram identificadas principalmente em regiões próximas ao canal da Galheta. Estas feições são resultadas pela suspensão dos

sedimentos durante os períodos de maré cheia, que são encaminhados para o canal, formando pequenas ondulações e contribuindo para o acúmulo de sedimentos nas feições maiores (CRUZ; NOERNBERG, 2020). Quando os fluxos de vazante e enchente estão mais acentuados, os sedimentos são realocados entre as grandes feições, ficando expostos as várias direções de fluxos, formando assim várias dunas subaquosas com cristas irregulares sobrepostas a ondas de areias, como foi possível observar em frente ao balneário Pontal do Sul.

As principais diferenças entre as campanhas foram notadas através do aumento das cristas cuspidadas em diversos trechos da área de estudo; pelo aumento das cristas linguóides, nos trechos com fluxos de correntes e profundidades maiores; e, pelo deslocamento médio mensal de aproximadamente 8,83 m, das feições na Ponta do Poço e na Ponta do Caraguatá. Estes deslocamentos, principalmente de DS, foram observados durante as análises de distribuição das feições de fundo, são possíveis resultados das variações temporais e hidrodinâmicas que aconteceram entre a primeira e a segunda campanha. A passagem de frentes frias ou o maior aporte fluvial, ocasionado pela estação chuvosa, que no litoral do Paraná é o verão, são grandes motivadores dos deslocamentos das dunas subaquosas, uma vez que estas feições são mais suscetíveis as mudanças ideais de formação, podendo ter contribuído para um possível aumento da rugosidade do fundo na área de estudo.

Além disso, foi possível notar que feições maiores, como as ondas de areia observadas na Ponta do Poço e em frente a Pontal do Sul, não tiveram tantas oscilações na direção principal da crista. Enquanto as feições menores tiveram direções de cristas mais oscilatórias entre as duas campanhas. Isto ocorre porque as feições maiores são, na maioria das vezes, mais antigas e duradouras no tempo geológico, agindo como barreiras do transporte sedimentar, enquanto as menores são feições mais recentes e mais suscetíveis a mudanças espaciais e temporais, como a ocorrência de eventos estocásticos de alta energia.

A análise das direções preferenciais das feições nas cinco regiões escolhidas, também mostraram que a Ponta do Poço apresenta dunas subaquosas direcionadas no sentido da maré de vazante, no sentido afóra do canal da Cotinga, enquanto as ondas de areia estão direcionadas para o interior do canal da Cotinga.

É possível notar que dunas subaquosas estão distribuídas principalmente nas profundidades de -15 e -20 m, contornando o campo de ondas de areia, presentes na profundidade de -10 m. As ondas de areia nesta região podem indicar uma possível tendência do transporte de sedimentos, principalmente areias finas, provindos da região central do estuário para o interior do canal da Cotinga.

A ponta do Quaragatá apresentou dunas subaquosas direcionadas no sentido da maré enchente, contornando o pontal rochoso e adentrando o saco do Limoeiro. Estas feições podem indicar o canal marginal de enchente do delta de maré vazante presente nesta desembocadura e descrita por Angulo (1999). As ondas de areia identificadas na região do saco do Limoeiro tiveram a maior parte das cristas direcionadas no sentido do centro do estuário. Um pouco mais adiante, no polígono escolhido para a região do canal da Galheta, também foram identificadas dunas subaquosas direcionadas para o fluxo da maré de enchente. A partir destas feições, pode-se deduzir que parte das correntes de enchente adentram o estuário pelo contorno da Ilha do Mel, passam pelo saco do Limoeiro e então seguem rumo ao interior do estuário.

Apesar das feições identificadas no saco do Limoeiro terem as feições direcionadas no sentido da corrente de enchente, as tendências do transporte de sedimentos são direcionadas para a vazante e possuem histórico de exportação de sedimentos, ao contrário do esperado caso a tendência do transporte fosse no sentido da maré de enchente. Cruz e Noernberg (2020), explicam essa possível falsa interpretação da evolução geomorfológica do saco do Limoeiro, através da corrente de refluxo, causada pelas variações de profundidades e efeitos de atrito na forma do leito, responsáveis por causar um atraso nas trocas de maré e confinamento da água na região do delta, formando feições contrárias as direções do transporte preferencial dos sedimentos de fundo da desembocadura.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As feições de fundo estão presentes ao longo de quase todo o leito da desembocadura sul do CEP. Podemos fazer as seguintes considerações a respeito da distribuição e classificação das feições identificadas: são compostas por ondas de areia e dunas subaquosas, estando associadas predominantemente aos sedimentos de areias finas; as cristas são classificadas principalmente entre sinuosas e cuspidadas, podendo ser relacionadas com uma possível velocidade média do fluxo da desembocadura gira em torno de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$; a presença de linguóides ocorrem nas áreas de maior fluxo (0.6 m.s^{-1}), como na região mais profunda do CEP; as cristas irregulares são formadas principalmente em regiões com encontros de fluxos; e, o comprimento das cristas indicam feições grandes e muito grandes, na maior parte das vezes tendo feições menores sobrepostas entre as cristas de feições maiores.

O segundo objetivo deste trabalho tinha como finalidade estabelecer as principais relações geomorfológicas com a hidrodinâmica de longo prazo em termos oceanográficos. Com isso, consideramos que os padrões de feições encontradas ao longo da desembocadura sul mostram que a velocidade média do fluxo pode variar entre 0.2 a 0.4 m.s^{-1} ao longo de toda a região central do canal e que os sedimentos são predominantemente areias finas, contribuindo para a formação de feições de fundo nestas áreas. As feições identificadas tiveram diversas cristas direcionadas tanto para o interior do estuário e para a desembocadura afora, tendo a Pontal do Poço e o banco de dunas em frente a Pontal do Sul com o maior número de feições voltadas para a foz do estuário. E, a ponta do Caraguatá, o saco do Limoeiro e o interior do canal da galheta, apresentando as feições direcionadas para o interior do estuário.

As feições direcionadas para o interior do estuário, podem ser relacionadas com as tendências de transporte dos sedimentos a curto prazo, que em termos oceanográficos está na escala de meses, da desembocadura para o interior do estuário, como também descritas em estudos anteriores desta desembocadura (ANGULO 1999, LAMOUR et al., 2007, CRUZ; NOERNBER, 2020). Já a presença de ondas de areia, como feições mais estáveis e antigas, direcionadas para a foz do estuário, podem ser relacionadas com uma tendência de transporte dos sedimentos a longo prazo, dentro de décadas, para fora do estuário, evidenciando o domínio das

correntes de vazante e balanço do transporte sedimentar tendendo para a foz da desembocadura sul do complexo estuarino de Paranaguá.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho não foram realizados os levantamentos de perfilhadores sísmicos para uma análise de alta frequência. Caso fosse realizado, seria possível obter uma análise mais detalhada das primeiras camadas de sedimento e compará-las com os dados sonográficos. A junção dos dados sísmicos de alta resolução e sonográficos possibilitariam a identificação com mais precisão do substrato de fundo, a partir das ecofácies e padrões sonográficos.

Outro fator que poderia contribuir para resultados melhores seria a coleta de sedimentos de fundo nas mesmas datas das campanhas de sísmicas e com uma malha amostral de pontos específicos pré-determinados. A análise granulométrica somadas a análise hidrodinâmica do local, como a variação das marés e as velocidades de corrente de fundo e superfície, seriam sugestões para uma análise mais detalhada do comportamento das feições de fundo do CEP.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R. J. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n.4, p. 935–959, 1999.
- ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira Estado do Paraná - Tese (Doutorado em Geociências)**, 1992.
- ANGULO, R. J.; SOARES, C. R.; MARONE, CRISTINA SOUZA, M. C.; ODRESKI, L. L. R.; NOERNBERG, M. A. Ministério do Meio Ambiente., & Programa de Geologia e Geofísica Marinha (Brazil). **Erosão e progradação do litoral brasileiro - Paraná**. Ministério do Meio Ambiente, p. 349-400, 2006.
- ANGULO, R.J. & ARAÚJO, A.D. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, 44:7-17, 1996.
- ASENSIO AMOR, I.; GRAJAL BLANCO, Mariano. Rasgos morfológicos y sedimentológicos de la Ría de Betanzos (**A Coruña, Galicia, España**). 1981.
- ASHLEY, G. M. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem; SEPM bedforms and bedding structures. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, n. 1, p. 160–172, 1990.
- BARALDO, K. B. Caracterização e comparação dos estuários dos rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga, SP) com base nos parâmetros geo-físico-químicos, batimetria e imageamento de fundo. 2018.
- BELO, W. C.; DIAS, G. T. M.; DIAS, M. S. O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: O relevo submarino e a sedimentação no canal central. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, n. 1, p. 5–15, 2002.
- BIANCO, R.; SOUZA, L. A. P. DE; CUNHA, A. G. N. DA. Sísmica rasa e sonar de varredura lateral aplicados a projetos de dragagem e derrocagem submarina. p. cp-168-00361, 14 set. 2003.
- BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná, 1978.
- BIONDO DA COSTA, A. L. et al. Reconstituição Paleogeográfica Do Quaternário No Estuário Do Rio Santo Antônio, Ilha Do Maranhão - Brasil. **Geosciences = Geociências**, v. 38, n. 1, p. 117–130, 2019.
- BOYD, R.; DALRYMPLE, R.; ZAITLIN, B. A. Classification of clastic coastal depositional environments. **Sedimentary Geology**, v. 80, n. 3–4, p. 139–150, 1992.
- BROWN, C. J.; BLONDEL, P. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 10, p. 1242–1247, out. 2009.
- BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Aplicação do QTC SIDEVIEW na classificação de sedimentos através de imagens de Sonar de Varredura Lateral, num trecho do Canal São Gonçalo, RS, Brasil. p. 19–30, 2009.
- CAMARGO R. Estudo Numérico das Circulações Atmosféricas e Oceânicas na Região da Baía de Paranaguá. Instituto Astronômico e Geofísico, USP, Tese de doutorado, 1998.

CATUNEANU, O.; KHALIFA, Mohamed Abdelghany; WANAS, H. A. Sequence stratigraphy of the lower cenomanian bahariya formation, bahariya oasis, western desert, Egypt. **Sedimentary Geology**, v. 190, n. 1-4, p. 121-137, 2006.

CATTANI, P. E.; LAMOUR, M. R. Considerations Regarding Sedimentation Rates along the E-W Axis of the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil: A Bathymetric Approach. **Journal of Coastal Research**, v. 32, n. 3, p. 619–628, 2016.

CAVALCANTI, G. DE H. et al. Ecossistemas de corais de águas profundas da Bacia de Campos. In: **Comunidades Demersais e Bioconstrutores, Vol 4**. [s.l.] Campus, p. 43–85, 2017.

CHANDRASHEKAR, G. et al. Side scan sonar image augmentation for sediment classification using deep learning based transfer learning approach. **Materials Today: Proceedings**, jul. 2021.

CORDEIRO, E. F. et al. Caracterização de feições morfoestruturais submersas na região do estuário Rio Jaguaribe (CE) a partir do processamento de imagens Landsat 5 TM. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, Brasil**, v. 30, p. 7426–7433, 2011.

CRUZ, O. G.; NOERNBERG, A. M. Bedforms controlled by residual current vortices in a subtropical estuarine tidal channel. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 232, n. February 2019, p. 106485, 2020.

CUNHA, Roberto. O Estuário do Guaíba: características texturais, mineralógicas e morfológicas, 1971.

DALRYMPLE, R. W.; KNIGHT, R. J.; LAMBIASE, J. J. Bedforms and their hydraulic stability relationships in a tidal environment, Bay of Fundy, Canada. **Nature**, v. 275, n. 5676, p. 100–104, 1978.

DALRYMPLE, R. W.; RHODES, R. N. Estuarine dunes and bars. **Developments in Sedimentology**, v. 53, n. C, p. 359–422, 1995.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 62, n. 6, p. 1130–1146, 1992.

DA SILVA, Margarida Cardoso. Estuários—Critérios para uma classificação ambiental. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, p. 25-35, 2000.

DE ARAÚJO, A. D. Dinâmica Sedimentar E Evolução Paleogeográfica Do Saco Do Limoeiro Na Ilha Do Mel, E Sua Relação Com O Canal De Acesso Ao Porto De Paranaguá. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 51, 2002.

DE SOUZA, L. A. P. et al. **Investigações geofísicas em áreas submersas rasas: qual o melhor método?** 10º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. **Anais...Associação Europeia de Geocientistas e Engenheiros**, 2007

DE SOUZA, L. A. P. et al. a Importância Do Sonar De Varredura Lateral Em Projetos De Hidrovias: O Exemplo Da Hidrovia Do Araguaia. n. January, p. 1206–1211, 2009.

DE SOUZA, L. A. P. et al. **A IMPORTÂNCIA DO SONAR DE VARREDURA LATERAL EM PROJETOS DE HIDROVIAS: O EXEMPLO DA HIDROVIA DO ARAGUAIA**. Society of Exploration Geophysicists, 28 ago, 2009.

DELLINO, P. et al. Inverting sediment bedforms for evaluating the hazard of dilute pyroclastic density currents in the field. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2021.

DODANGEH, E.; AFZALIMEHR, H. Incipient motion of sediment particles in the presence of bed forms under decelerating and accelerating flows. **Journal of**

Hydrology and Hydromechanics, v. 70, n. 1, p. 89–102, 2022.

DUARTE, António AL; VIEIRA, J. M. Caracterização dos ambientes estuarinos: mistura em estuários. 1997.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. **Developments in Sedimentology**, v. 53, n. C, p. 423–449, 1995.

EMERY, K. O. Relict sediments on continental shelves of the world. **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 52, p. 445–464, 1968.

FENSTER, M. S.; FITZGERALD, D. M. Morphodynamics, stratigraphy, and sediment transport patterns of the Kennebec River estuary, Maine, USA.

Sedimentary Geology, v. 107, n. 1–2, p. 99–120, 1996.

FERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. Facies evolution of nearshore marine clastic deposits during the Tortonian transgression-Granada Basin, Betic Cordilleras, Spain. **Sedimentary Geology**, v. 71, n. 1–2, p. 5–21, 1991.

FITZGERALD, D. M. et al. Sandy dynamics at the mouth of a rock-bound, tide-dominated estuary. **Sedimentary Geology**, v. 131, n. 1–2, p. 25–49, 2000.

FLOR BLANCO, Germán et al. Aspectos morfológicos del estuario del Eo. **Trabajos de Geología**, 19, 1993.

FRAZÃO, E.; VITAL, H. Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (nordeste do Brasil). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 17–26, 2007.

FRITZ, W. J.; MOORE, J. N. **Basics of physical stratigraphy and sedimentology**. new york: j. wiley, 1988.

GABRIEL PENDÓN, J. et al. Evolution of estuarine facies in a tidal channel environment, SW Spain: Evidence for a change from tide- to wave-domination.

Marine Geology, v. 147, n. 1–4, p. 43–62, 1998.

GUERRERO, Q. et al. Small-scale bedforms and associated sediment transport in a macro-tidal lower shoreface. **Continental Shelf Research**, v. 225, n. May, 2021.

HAYES, M.O. Morphology of sand accumulations in estuaries. In: CRONIN, L.E. Estuarine research, geology and engineering. New York : Acad. Press, v. 2, p. 3-22, 1975.

JUNG, W. Y. et al. Sedimentary structure and origin of a mud-cored pseudo-tidal sand ridge, eastern Yellow Sea, Korea. **Marine Geology**, v. 151, n. 1–4, p. 73–88, 1998.

KENYON, N. H.; BELDERSON, R. H. Bed forms of the Mediterranean undercurrent observed with side-scan sonar. **Sedimentary Geology**, v. 9, n. 2, p. 77–99, 1973.

KENYON, N.H.,. Evidence from bedforms for a strong poleward current along the upper continental slope of northwest Europe. **Mar. Geol.** 72, 187–198, 1986.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine Geology**, v. 88, n. 3–4, p. 187–199, 1 ago. 1989.

KNOPPERS, B. A. .; BRANDINI, F. P. .; THAMM, C. A. Ecological studies in the Bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics.e. **Nerítica**, v. v. 2, n. 1, p. 1–36, 1987.

KOWSMANN, R. O.; DE LIMA, A. C.; VICALVI, M. A. FEIÇÕES INDICADORAS DE INSTABILIDADE GEOLÓGICA NO TALUDE CONTINENTAL E NO PLATÔ DE SÃO PAULO. In: **Geologia e Geomorfologia**. p. 71–97, 2015.

LAMOUR, M.R.; ANGULO, R.J.; SOARES, C. R. Bathymetric evolution of critical silting sectors on Galheta channel, access way to Paranaguá port, Paraná State – Brazil.. **Journal of Coastal Research**, v. 23, p. 49–58, 2007.

LAMOUR, M. R. **DINÂMICA SEDIMENTAR DO CANAL DA GALHETA , VIA DE ACESSO AO PORTO DE PARANAGUÁ - PR.** Dissertação Curso de Pós-Graduação em Geologia, 2004.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica Sedimentar da Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR Tese de Doutorado.** Universidade Federal do Paraná, 2007.

LAMOUR, M. R.; SOARES, C. R. **Histórico das atividades de dragagem e taxas de assoreamento nos canais de navegação aos portos costeiros paranaenses.** Dragagens Portuárias no Brasil – Licenciamento e monitoramento ambiental. **Anais...**2007

LAMOUR, M. R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá - PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, p. 77–82, 2004.

LANA, P. C. et al. The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: **Coastal Marine Ecosystems of Latin America.** Basel: Springer Verlag. [s.l: s.n.]. p. 131–145.

LANGHORNE, D. N. A study of the dynamics of a marine sandwave. **Sedimentology**, v. 29, n. 4, p. 571–594, 1982.

MANTOVANELLI, A. et al. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 59, n. 4, p. 523–537, 1 abr. 2004.

MARENT, B. R. et al. Modelos De Evolução Do Relevo De Margens Passivas Models of Relief Evolution Escarpments in Passive Margin Regions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 235–240, 2013.

MARONE, E. et al. **Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá.** Pontal do Sul: UFPR. v. 2. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM. **Anais...**1997

MARONE, E. et al. Medições de Correntes e curva vazão-maré na Baía de Paranaguá, PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 60–61, p. 55–64, 2007.

MARONE, E.; CAMARGO, R. DE. Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, v. 8, n. 1–2, p. 73–85, 1994.

MARONE, E.; JAMIYANAA, D. Tides and tidal modelling in the Paranaguá Bay, PR. **Nerítica**, v. v. 11, n., p. 95-108, 1997.

MARONE, E.; PRATA JR., V. P.; KLINGENFUSS, M. S. & DE CAMARGO, R. Correntes de deriva no Litoral Paranaense: Um caso de estudo. **VI Congresso Latinoamericano de Ciencias del Mar.** Mar del Plata, Argentina, 1995.

MARRANO, A.; ANTONIO PEREIRA DE SOUZA, L.; SOARES MAGALHÃES, F. **Sonar De Varredura Lateral Aplicado À Implantação De Rotas De Navegação.** European Association of Geoscientists & Engineers, 26 set. 2020Disponível em: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609-pdb.216.I_SG_SBGf2004_SI_06>. Acesso em: 6 jun. 2022

MARTIN, L. SUGUIO, K. FLEXOR, J.; BITTENCOUR, A. VILAS-BOAS, G. Le quaternaire marin brésilien (littoral pauliste, Sud fluminense et bahianais). **Cahiers ORSTOM.Série Géologie**, v. 11, n. 1, p. 95–124, 1979.

MARTINS, S. E. M. GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ (BAÍA DE MARAJÓ, AMAZÔNIA). **Programa De Pós-Graduação Em Geociências**, v. Mestre, p. Pag. 123, 2010.

MELO, M. S. DE et al. PROCESSOS E PRODUTOS MORFOGENÉTICOS CONTINENTAIS. In: **Quaternário do Brasil.** [s.l: s.n.]. p. 258–275.

MELO, Walter D. et al. Influencia del área continental pampeana en la evolución morfológica del estuario de Bahía Blanca. **Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología**, v. 10, n. 1, p. 39-52, 2003.

MIRANDA, L. B. DE.; CASTRO FILHO, B. M. DE.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. Sao Paulo: EDUSP, 2002.

MOORE, D. G.; CURRAY, J. R. Wave-base, marine profile of equilibrium, and wave-built terraces: Reply. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 75, n. 12, p. 1275–1281, 1964.

MOREIRA, M. A. et al. **APLICAÇÃO DO MÉTODO SÍSMICO DE ALTA RESOLUÇÃO NO MAPEAMENTO DE FEIÇÕES ESTRATIGRÁFICAS NO ESTUÁRIO DO RIO PIRANHAS-AÇU/RN, NE DO BRASIL**. Global Meeting Abstracts. **Anais...Society of Exploration Geophysicists**, 6 ago. 2015Disponível em: <<https://library.seg.org/doi/10.1190/sbgf2015-087>>. Acesso em: 18 set. 2022

MUEHE, D., Brazil. Ministério do Meio Ambiente., & Programa de Geologia e Geofísica Marinha (Brazil). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, 2006.

NEMES, D. D.; MARONE, E. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 68, n. 68–69, p. 12–25, 2013.

NETO, A. A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 3, p. 241–256, 2000.

NOERNBERG, M. A. Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: Um Estudo a Partir de Dados in situ e Landsat – TM. Curitiba. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de Doutorado, 180 p, 2001.

NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R.; CATTANI, P. E. Vulnerability to erosion on the coast of parana established by application of multi-criteria analysis/ Vulnerabilidade aos processos erosivos no litoral do parana estabelecido pela aplicacao da analise multicriterios. **Ra'e Ga**, n. 38, p. 195, 2016.

PAOLO, F. S.; MAHIQUES, M. M. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: Exemplo na desembocadura lagunar de cananéia. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 2, p. 211–225, 2008.

PAPASTAMATIOU, Y. P.; BRITTON, C.; BURGESS, G. H. Using side-scan sonar to survey critically endangered smalltooth sawfish. **Fisheries Research**, v. 228, p. 105577, 1 ago. 2020.

PARKER, G.; LANFREDI, N. W.; SWIFT, D. J. P. Seafloor response to flow in a southern hemisphere sand-ridge field: Argentine inner shelf. **Sedimentary Geology**, v. 33, n. 3, p. 195–216, 1 nov. 1982.

PERILLO, G. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries BT - Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**, p. 17–47, 1995.

PRANDLE, D. **Estuaries: Dynamics, mixing, sedimentation and morphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

PRITCHARD, D. W. SALINITY DISTRIBUTION AND CIRCULATION IN THE CHESAPEAKE BAY ESTUARINE SYSTEM. **Journal of Marine Research**, n. 203, 1952.

QUARESMA, V. S.; DIAS, G. T. M.; BAPTISTA NETO, J. A. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara - RJ. **Revista Brasileira de**

Geofísica, v. 18, n. 2, p. 201–213, 2000.

ROBINSON, M.; ALEXANDER, C.; VENHERM, C. Shallow Water Estuarine Mapping in High-Tide-Range Environments: a Case Study from Georgia, USA.

Estuaries and Coasts, v. 45, n. 4, p. 980–999, 2022.

ROSSETTI, D. F. Ambientes Estuarinos. In *Ambientes de sedimentação Siliciclástica do Brasil*. p. 194-206, 2008.

RUTYNA, B. B. et al. Assoreamento nas baías de Antonina e de Paranaguá – PR: análise integrada das áreas fontes de sedimentação e obras de dragagem.

Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 2, p. 676, 25 maio 2021.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

SANT'ANNA NETO, J. L.; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: **Quaternário do Brasil**. [s.l.: s.n.]. p. 28–51.

SERRA, A. Os climas do passado. **Revista Brasileira de Geografia (Separata)**, v. 4, p. 39–65, 1955.

SOUZA, C. R. D. G. et al. **Quaternário do Brasil 2ªEd.** 2. ed. São Paulo: Holos, Editora, 2018.

SOUZA, M. M. DE; LAMOUR, M. R. TEORIA E OBSERVAÇÃO DO TRANSPORTE POR CARGA DE FUNDO NA DESEMBOCADURA SUL DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ. p. 1144–1148, 2012.

STOMMEL, H. EXAMPLES OF THE POSSIBLE ROLE OF INERTIA AND STRATIFICATION IN THE DYNAMICS OF THE GULF STREAM SYSTEM. **Journal of Marine Research**, v. 12, p. 184–195, 1953.

STOMMEL, H.; FARMER, H. G. **Control of salinity in an estuary by a transition****Journal of Marine Research**, 1953.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

TUCKER, M. E. An introduction to the origin of sedimentary rocks. **Sedimentary Petrology**, p. 260, 1991.

TUCKER, M. E. **Sedimentary rocks in the field**. 3rd ed. ed. West Sussex England ;;Hoboken NJ: J. Wiley, 2003.

TUCKER, M. E. *Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide*.

Environmental & Engineering Geoscience, v. 18, n. 4, p. 401–402, 2012.

VAN DER MARK, C. F.; BLOM, A. A new and widely applicable tool for determining the geometric properties of bedforms. n. 2007R-003/WEM–002. ISSN 1568 4652, p. 57, 2007.

VEIGA, F. A., ANGULO, R. J., LAMOUR, M. R., BRANDINI, F. P., SOARES, C. R. Aplicabilidade dos programas geradores de vetores de tendência de transporte de sedimentos na porção do delta de desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá-PR. **CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO**, v. 10, 2005.

VERONEZ JÚNIOR, P. et al. Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na baía de Vitória - ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 411–425, 2009a.

VERONEZ JÚNIOR, P. et al. Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na baía de Vitória - ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 411–425, 2009b.

VITAL, H. et al. OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA E GEOFÍSICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA. In: **Quaternário do Brasil**. [s.l.: s.n.]. p. 153–175.

ZHANG, Y.; WANG, P.; SHEN, G. Characterizing and identifying bedforms in

the wandering reach of the lower Yellow River. **International Journal of Sediment Research**, v. 37, n. 1, p. 110–121, 2022.

ZAPATA, Maria Consuelo; FONSECA, Verônica Gomes da. Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, PE. 1979.

ZOMER, J. Y. et al. Rapidly Migrating Secondary Bedforms Can Persist on the Lee of Slowly Migrating Primary River Dunes. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 126, n. 3, 2021.