

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

GABRIEL SERENESKI ROCHA

**AVALIAÇÃO DO BALANÇO SEDIMENTAR COMO SUBSÍDIO PARA O PROJETO
DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS NO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ/SC**

CURITIBA

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

GABRIEL SERENESKI ROCHA

**AVALIAÇÃO DO BALANÇO SEDIMENTAR COMO SUBSÍDIO PARA O PROJETO
DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS NO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Profa. Dra. Maria Cristina de
Souza

CURITIBA

2023

RESUMO

Itapoá é o município que mais cresceu no estado de Santa Catarina nos últimos doze anos, porém, além da população a erosão costeira e as obras de proteção da costa também se intensificaram, principalmente os enrocamentos. A causa da erosão se deve ao déficit de sedimentos causados pela dragagem do canal de acesso da Baía da Babitonga, que gera uma armadilha para os sedimentos transportados pela deriva litorânea longitudinal e interrompe o fluxo natural de areia de sul para norte. Assim sendo, a alimentação artificial de praias de Itapoá se tornou uma medida compensatória obrigatória para a emissão da licença ambiental da dragagem do canal de acesso da Baía da Babitonga. Em vista disso, o objetivo desse trabalho foi calcular o balanço sedimentar sazonal entre perfis praias planialtimétricos de Itapoá, com o intuito de gerar dados e informações da morfodinâmica costeira para contribuir com o projeto de alimentação artificial de praias. O balanço sedimentar sazonal encontrado aponta a predominância de processos erosivos, corroborando com pesquisas anteriores. Além disso, a identificação da linha de costa através de imagens de satélite e por caminhamento com GPS de precisão apontou que é necessário estabelecer um padrão para realizar comparações entre levantamentos de linha de costa. Por fim, o método de alimentação artificial por *bypassing*, utilizado em países com expertise nesse tipo de empreendimento, aliado com a conformação das partes altas do perfil praias e com a alimentação na região da *nearshore* pode recuperar trechos da praia intensamente danificadas, diminuindo o risco de eventos erosivos relacionados a combinação de ondas de tempestades e marés de sizígia, além de servir de exemplo de sustentabilidade por utilizar o sedimento arenoso do próprio sistema estuarino, que seria descartado costa-afora, não sendo necessário a exploração de uma jazida de areia exclusivamente para a engorda de praia.

Palavras chave: Alimentação artificial, Balanço sedimentar, *Bypassing*, Erosão costeira, Baía da Babitonga

ABSTRACT

In the last twelve years, Itapoá is the city that has grown the most in Santa Catarina state but, besides population, coastal erosion and coastal protection measures have also grown, especially seawalls. Erosion happens due to sediment deficit caused by dredging of the Babitonga Bay access channel, which creates a trap for sediments transported by longitudinal coastal drift and interrupts sand natural flow from south to north. Thus, artificial beach nourishment became a mandatory compensatory measure when granting environmental licenses for dredging of Babitonga Bay access channel. Therefore, the aim of this work was to calculate seasonal sediment budget between planaltimetric beach profiles, in order to generate data and information on coastal morphodynamics to contribute to artificial beach nourishment projects. The established seasonal sediment budget indicates predominance of erosive processes, corroborating previous researches. Furthermore, coastline identification by satellite imagery and precision GPS tracking shows that it is necessary to establish a standard methodology to compare shoreline surveys. Finally, the artificial bypassing nourishment method, used in countries with expertise in such enterprises, combined with the conformation of the beach profile upper parts and nearshore nourishment, can recover beach stretches that are intensely damaged, reducing risk of erosive events related to the combination of storm waves and high tides, besides serving as a sustainability example by using sandy sediment of the estuarine system itself, that would be discarded offshore, not requiring exploration of a sand deposit exclusively for beach nourishment.

KEYWORDS: Nourishment, Sedimentary Budget, Bypassing, Coastal Erosion, Babitonga Bay.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha mãe Terezinha, meu pai Pedro, meu irmão Tiago e ao meu melhor amigo e também cachorro, Pedrão! Sem vocês suportar essa jornada geológica durante toda a graduação seria impossível, serei eternamente grato!

À Professora Maria Cristina de Souza por todo auxílio e orientação durante a elaboração desse trabalho.

Aos meus companheiros de campo que tornaram os levantamentos de perfis praias e caminhamentos de linha de costa mais fáceis e divertidos. Muito obrigado Júlio Brita, Rafael Jun Nicio e Amanda Aparecida dos Santos!

Aos meus amigos de graduação que me proporcionaram sorrisos e risadas durante esses anos.

A todos os professores que me ensinaram e incentivaram desde o ensino infantil.

A toda sociedade civil brasileira por permitir o funcionamento das instituições públicas de ensino. Em especial as universidades públicas, gratuitas e de qualidade!

“Não deixe o mar te engolir...”

Charlie Brow Jr.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE GRÁFICOS.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. LOCALIZAÇÃO.....	1
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA	2
1.3. OBJETIVO	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1. PRAIAS.....	5
2.2. MARÉS	7
2.3. ONDAS	8
2.4. BALANÇO SEDIMENTAR E EROÇÃO COSTEIRA	9
2.5. LINHA DE COSTA	10
2.6. ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS.....	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS.....	14
4.1. VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS	14
4.1.1. Perfil 01	15
4.1.2. Perfil 02.....	17
4.1.3. Perfil 03.....	19
4.1.4. Perfil 04.....	20
4.1.5. Perfil 05.....	21
4.1.6. Perfil 06.....	22
4.1.7. Perfil 07	23
4.1.8. Perfil 08.....	24
4.2. LINHA DE COSTA.....	27
5. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
7. APÊNDICE I: Figura de linha de costa	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo (Fonte: Google Earth Pro, 2023)	1
Figura 3: Perfil hipotético com a terminologia dos subambientes praias e das zonas hidrodinâmicas (Souza 1999).....	6
Figura 4: A) Mira graduada e nível de precisão. B) Régua.	13
Figura 5: A) Base fixa do GNSS RTK. B) Rover do GNSS RTK durante caminhamento.....	14
Figura 6: A) Morfologias identificadas em junho/2022. B) Escarpa de tempestade destacada no perfil de praia em setembro/ 2022. C) Pós-praia incipiente identificado em dezembro/2022. D) Pós-praia incipiente identificado em janeiro de 2023.....	16
Figura 7: A) Morfologias identificadas em junho/2022. B) Pós-praia próximo à linha de costa, setembro/2022. C) Canal e barra longitudinais observadas em dezembro/2022. D) Morfologias identificadas em janeiro/2023.....	18
Figura 8: A) Instalação de enrocamento em setembro/2022. B) Morfologias observadas na <i>nearshore</i> , janeiro/2023.	20
Figura 9: A) Perfil praias 04, junho/2022. B) Principais morfologias identificadas em setembro/2020. C) Aterro erodido, dezembro/2022.	20
Figura 10: A) Feições morfológicas identificadas na <i>nearshore</i> , junho/2022. B) Face praias em contato com enrocamento, junho/2022.....	21
Figura 11: Enrocamento e aterro em via pública.....	22
Figura 12: Morfologias observadas em junho/2022.....	23
Figura 13: A) Feições morfológicas observadas em junho/2022. B) Feições morfológicas observados em janeiro/2023.	25
Figura 14: Variações da linha de costa próxima a 3ª Pedra. Seta em vermelho aponta para recuo da linha de costa em propriedades particulares e a seta amarela aponta para recuo da linha de costa em via pública. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).....	28
Figura 15: Variações da linha de costa. Setas em vermelho apontam para áreas com recuo da linha de costa e setas em amarelo para regiões enrocadas relativamente estáveis. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).	29
Figura 16: Variações da linha de costa. Setas em vermelho indicam o recuo da linha de costa em relação à restinga, setas amarelas indicam via pública danificada pelo recuo da linha de costa e setas azuis apontam para região que sofreu enrocamento	

entre os registros. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).	30
Figura 17: Variações da linha de costa. Setas em vermelho indicam o recuo da linha de costa e setas em amarelo apontam para enrocamento. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).	31
Figura 18: Variações da linha de costa. Linha amarela tracejada indica o perfil 08, seta em amarelo aponta para região onde avanço da linha de costa e posterior recuo, enquanto a seta azul mostra uma área em que houve avanço na linha de costa. Seta vermelha revela via pública principal arruinada. A) imagem de 2003. B) Imagem de 2014. C) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais mecanismos de crédito e débito de sedimento em um balanço sedimentar costeiro (Cruz, 2010).	10
Tabela 2: Etapas de campo de levantamento de perfis praias e linha de costa.	12
Tabela 3: Coordenadas dos pontos de amarração dos perfis de praia. Datum SIRGAS 2000.	15
Tabela 4: Variação na posição da linha de costa por período (m).	27
Tabela 5: Resultado da variação do volume de sedimentos por períodos (m ³).	33
Tabela 6: Taxa de variação média volumétrica diária entre os levantamentos (m ³).	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-01.	17
Gráfico 2: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-02.	19
Gráfico 3: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-04.	21
Gráfico 4: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-05.	22
Gráfico 5: Levantamento do Perfil-06.	23
Gráfico 6: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-07.	24
Gráfico 7: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-08.	26

1. INTRODUÇÃO

1.1. LOCALIZAÇÃO

O município de Itapoá, localizado no litoral do norte do estado de Santa Catarina, faz divisa com o município de Guaratuba/PR a norte, limitados pelo Rio Sai Guaçu, a oeste com Garuva/SC e a sul com São Francisco do Sul/SC. A cidade de Itapoá pode ser acessada via rodovia BR 101 sentido Garuva, até o acesso a rodovia SC-417. Pela via estadual é possível acessar Itapoá seguindo por cerca de 10 km até o trevo de acesso da rodovia SC-416 em direção ao centro do município e ao Porto de Itapoá. Ou seguir pela SC-417 até o trevo da Polícia Rodoviária Estadual do Paraná e seguir pela Estrada Cornelsen para acessar a região norte de Itapoá no Balneário Barra do Saí (Figura 1).

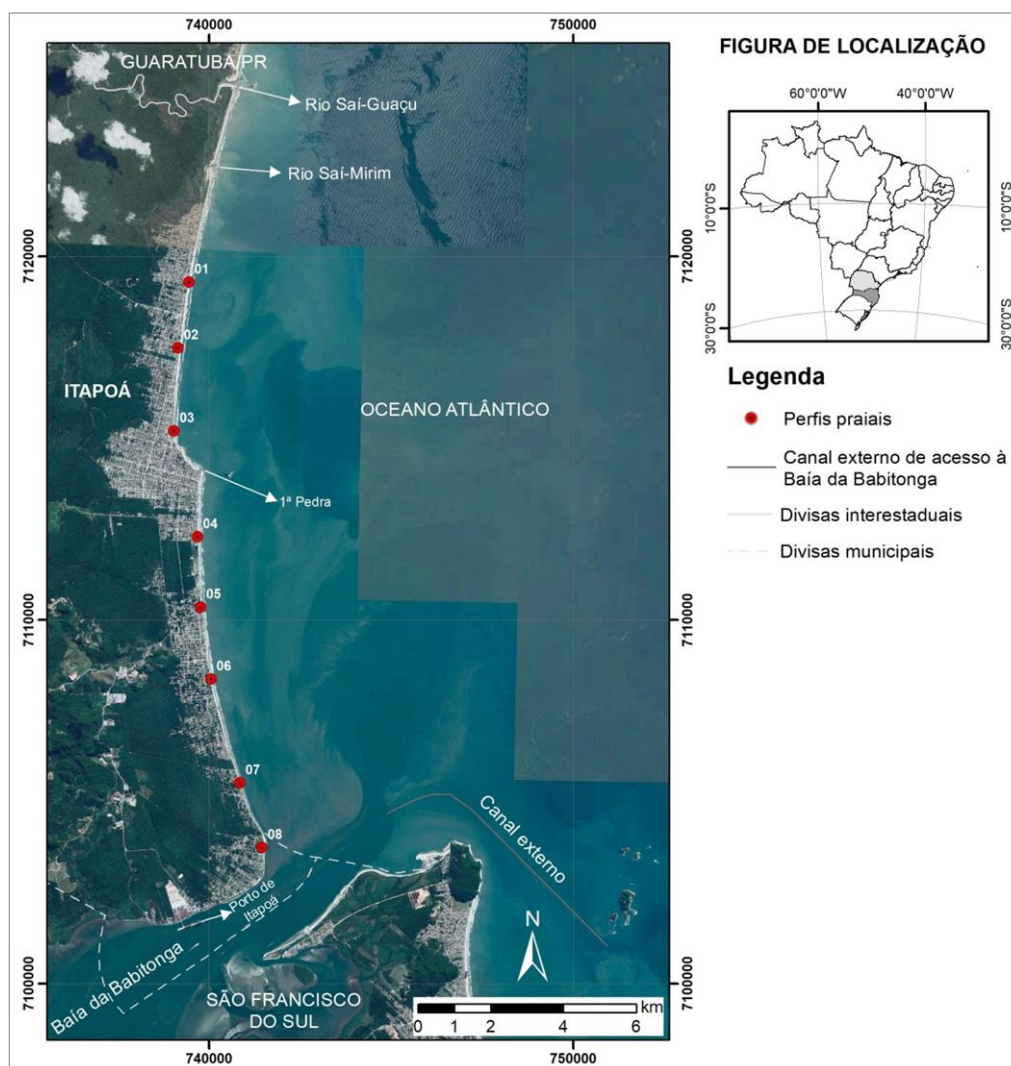


Figura 1: Localização da área de estudo (Fonte: Google Earth Pro, 2023)

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA

Itapoá foi o município de Santa Catarina que mais cresceu em termos de população entre os Censos de 2010 e 2022 IBGE (2022), a cidade dobrou de tamanho, com crescimento de aproximadamente 110% e ultrapassou a marca dos 30.000 habitantes, conforme aponta a prévia do Censo 2022. Sendo os alicerces da economia do município o Porto de Itapoá, instalado na Baía da Babitonga e em processo de expansão; o turismo, que atrai em torno de 200 mil visitantes entre os meses de dezembro e fevereiro e estimula o comércio, além da abundante construção civil que impulsiona o desenvolvimento urbano; secundariamente, a pesca artesanal, a agricultura de subsistência e a pecuária se destacam como atividades econômicas (Prefeitura de Itapoá, 2014).

No entanto, além do crescimento econômico e populacional, o município vem sofrendo com o aumento de suas taxas erosivas, apresentando problemas relacionados à erosão costeira há décadas (Souza, 1999; Souza & Angulo, 2003; Cruz, 2010; Ligeski, 2016; Silva, 2018 e Simões Neto, 2021). A ação das ondas e marés, associada a um déficit de sedimentos, causado pela interrupção da deriva longitudinal devido à dragagem do canal externo da baía da Babitonga Angulo e Souza (2003) tem causado destruição e prejuízos para a população e Prefeitura. Sendo assim, a alimentação artificial de praias se apresenta como uma solução para mitigar as adversidades causadas pela erosão costeira, principalmente em eventos extremos ligados a ressacas e marés de sizígia.

De acordo com o INPH (2015), a Baía da Babitonga se comunica com o Oceano Atlântico através de um canal de aproximadamente 1,7 km de extensão. Na parte interna a profundidade de calado é de 14 metros e na externa de 16 metros, sendo que a Administração do Porto de São Francisco do Sul (APSFS) monitora as taxas de assoreamento do canal, além de realizar campanhas de dragagens periódicas para manter os níveis de navegação seguros. Entre os anos de 1979 e 1991 foram dragados 2.234.057,00 m³ de sedimentos de acordo com INPH (2015).

A licença ambiental prévia (LP) nº 667 de 2022 expedida em abril pelo IBAMA trata do licenciamento ambiental da dragagem de readequação e aprofundamento do canal externo de acesso ao complexo portuário de São Francisco do Sul e aponta que o volume total estimado a ser retirado na próxima

campanha de dragagem é de 12.649.173,70 m³ de sedimentos. Para prosseguir o processo de licenciamento ambiental a empresa SCPAR Porto de São Francisco do Sul S.A. deve seguir condições específicas apresentadas na LP, sendo uma dessas condições a apresentação da versão executiva do Plano de Gestão Ambiental (PGA) da alimentação praial, contendo o detalhamento das medidas mitigadoras e os seguintes programas de monitoramento: Programa de supervisão ambiental da proteção e recuperação da Orla de Itapoá; Programa de comunicação social da atividade de alimentação praial, Programa de Monitoramento da qualidade de sedimento e Programa de Monitoramento da vegetação das dunas embrionárias. Além disso, deve apresentar as versões executivas do Projeto de proteção e recuperação da orla do município de Itapoá mediante método de alimentação artificial de sedimentos e do Projeto de recuperação e implantação do sistema de dunas embrionárias nas Praias Figueira do Pontal e Pontal do Norte (IBAMA, 2022).

Já as taxas de erosão costeira são identificada a partir do cálculo do balanço sedimentar. Para isso, é necessário medidas planialtimétricas de perfis praias que permitem medir o volume de sedimentos presentes nas praias. Realizar essas medidas sazonalmente possibilita identificar o saldo do balanço sedimentar a partir da comparação dos volumes de sedimentos medidos em um mesmo perfil em datas diferentes. Souza (1999) mediu oito perfis praias pelo município, identificou a acentuação das taxas erosivas entre 1996 e 1998 e encontrou um saldo negativo de aproximadamente -150 m³ para o período, assim como Cruz (2010) verificou um balanço sedimentar deficitário de cerca de -180 m³ em levantamentos planialtimétricos realizados entre 2008 e 2009. Já Ligeski (2016), levantou perfis praias em 2016 e comparou com os de 2009, encontrando um saldo negativo de aproximadamente -280 m³, Silva (2016) levantou perfis praias e calculou um saldo sedimentar de -60 m³.

Souza (1999), Souza e Angulo (2003), Cruz (2010) e Ligeski (2016) relacionaram em suas pesquisas a evolução da linha de costa a partir de levantamentos planialtimétricos de perfis praias com fotografias aéreas e imagens de satélite, indicando que fenômenos climáticos globais, processos geológicos naturais e a atividade antrópica podem gerar avanço ou recuo da linha de costa. Sendo que, a tendência erosiva identificada nos cálculos de balanço sedimentar

impacta no recuo da linha de costa, causando prejuízo e sofrimento para a população. Na tentativa de conter o recuo da linha de costa, as praias de Itapoá apresentam quilômetros de obras de contenção como enrocamentos, muros de concreto (*bigwall*) e paliçadas (estruturas verticais de madeira). A Figura 2 ilustra essas estruturas instaladas nas praias de Itapoá.



Figura 2: A) Estruturas rígidas, agosto/2021. B) Instalação de enrocamento, janeiro/2023. C) Aterro de areia instalado em abril/2021.

1.3. OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho é avaliar o balanço sedimentar sazonal no município de Itapoá/SC, com o intuito de contribuir para análise de erosão costeira e de possível solução a partir do projeto de alimentação artificial por bypassing nas praias em Itapoá.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PRAIAS

De acordo com King (1972), a praia é um ambiente sedimentar costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, constituída principalmente por areia de composição mineralógica variada, com ambiente praiial definido entre o limite em que as ondas começam a interagir com os sedimentos, no fundo do mar, até o limite em que as ondas de tempestades atingem o continente.

Segundo Short (1999), as praias estão entre os ambientes mais dinâmicos da Terra e ocorrem em costas sedimentares expostas a ondas.

“Praia é um depósito de sedimentos formados por ondas, distribuídos entre a base das ondas e o limite superior de espraiamento, onde a base das ondas é a profundidade máxima em que as ondas conseguem transportar material” (Short, 1999, tradução livre, p. 3).

Komar (1998) define praia como um ambiente de acúmulo de sedimentos inconsolidados, como areia, cascalho e seixo. Sendo delimitado entre o nível médio da maré baixa até o alcance de ondas de tempestade ou alguma alteração geomorfológica, como falésias ou campo de dunas.

A classificação morfodinâmica de Wright & Short (1984) divide as praias em refletivas, intermediárias ou dissipativas. As praias refletivas apresentam alto gradiente da área de “esbeltamento de ondas”, cúspides praiiais, ondas de borda estacionária e não ocorrem barras. Já as praias intermediárias são classificadas em quatro estágios, banco e canais longitudinais (LBT), banco e praia rítmicos (RBB), banco transversal e correntes de retorno (TBR) e crista-canal ou terraço de maré baixa (RR/LTT). As praias dissipativas apresentam baixo declive, larga zona de surfe, ondas estacionárias infragravitacionais, com múltiplas barras paralelas, podendo ocorrer ou não correntes de retorno. Souza (1999) define que as praias de Itapoá podem ser consideradas como dissipativas no verão e mais refletivas no inverno.

Angulo (1996) e Souza (1999) discutem a terminologia utilizada na definição de subambientes praiiais. A nomenclatura sugerida pelos autores inclui os termos

pós-praia, face praial, face litorânea, *nearshore*, Transição litoral costa afora e Costa afora (Figura 3).

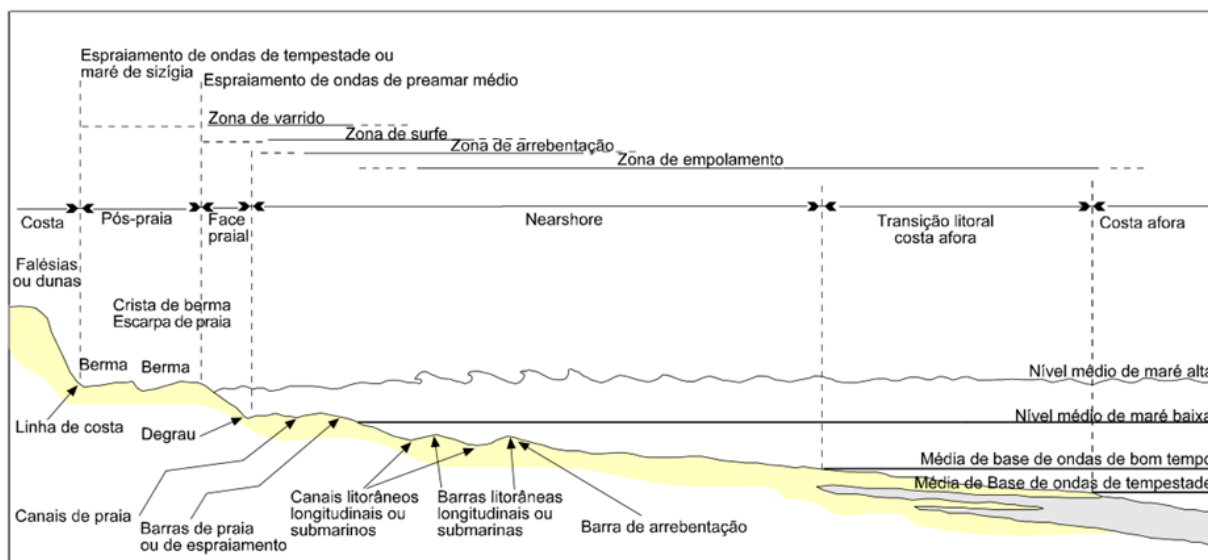


Figura 3: Perfil hipotético com a terminologia dos subambientes praias e das zonas hidrodinâmicas (Souza 1999)

O pós-praia se encontra acima do nível do preamar médio, sendo limitado pelo alcance máximo das ondas de tempestades ou marés altas. Apresentando uma ou mais bermas separadas por escarpa de praia, indicando diferentes níveis de ondas.

A face praial tem seu limite inferior definido ao nível médio de maré baixa e o limite superior equivale ao limite de espraçamento das ondas de maré alta. Sendo que o processo hidrodinâmico dominante dessa região é o espraçamento das ondas que formam morfologia e estruturas sedimentares características, como as cúspides e bancos de areia.

Já a *nearshore* compreende entre a região da transição litoral - costa afora, no limite médio da base das ondas de tempo bom, até o limite da face praial. Em se tratando da hidrodinâmica, a *nearshore* é classificada em 3 zonas hidrodinâmicas, a zona empolamento é a área onde a onda começa a interagir com o fundo antes de arrebatção. A zona de arrebatção é a área onde ocorre a quebra da onda, enquanto que a zona de surfe é a região onde as ondas se dissipam após a arrebatção. Além disso, na *nearshore* podem ocorrer canais e barras longitudinais ou transversais à costa.

A transição litoral - costa afora apresenta depósitos de sedimentos finos de águas calmas intercalados com depósitos arenosos de ondas de tempestades. Sendo o nível médio de base de ondas de tempestades o limite da zona de transição com a Costa afora.

2.2. MARÉS

As marés são as regulares subidas e descidas do nível dos oceanos devido a interação gravitacional da Lua e do Sol com a Terra em rotação, não sendo um componente obrigatório para a geração de praias, mas presente na maioria delas, como um fator importante na morfodinâmica praial; pode se apresentar em ambientes submetidos a macromarés com variações maiores de 4 metros até pequenas amplitudes em lagunas e mares menores que 2 metros (Short, 1999).

Em Itapoá, as marés ocorrem como duas preamares e duas baixamares por dia, apresentando amplitudes diferentes e sendo classificadas como semidiurna com desigualdades diurnas (DHN, 1997)

Souza & Angulo (2003) apontam que a dinâmica costeira da região sul de Itapoá é intensamente influenciada pela desembocadura da Baía da Babitonga, com as amplitudes médias das marés de aproximadamente 1,5 metro.

Eventualmente, componentes meteorológicos podem influenciar a amplitude de marés, como ventos fortes causados por frentes frias. Esse evento é chamado de maré meteorológica e exerce um papel importante na dinâmica costeira regional, podendo elevar em 1 metro a altura das marés astronômicas, que varia entre 0,8 e 1,2 metro (Schettini *et al.*, 1996). Além disso, outro aspecto meteorológico que pode interferir são as chuvas fortes, que caso ocorram simultaneamente com as marés vazantes são capazes de intensificar as correntes de maré na Baía da Babitonga (Schettini & Carvalho, 1999).

Segundo modelagens realizadas pela Coastal Planning and Engineering - CPE do Brasil Ltda & Acquaplan Tecnologia e Consultoria Ambiental (2009), as correntes de marés atingem até 1,5 m/s, durante as vazantes e enchentes em marés de sizígia.

2.3. ONDAS

As ondas na região sul do Brasil estão relacionadas a posição de zonas de baixa e alta pressão do oceano Atlântico Sul. As zonas de baixa pressão causam ventos no sentido horário (ciclones) e zonas de alta causam ventos no sentido anti-horário (anticlones), é justamente na combinação de uma zona de baixa pressão seguida de uma zona de alta pressão que ocorre a geração de grandes ondas; com a região sul do Brasil limitada a frentes frias, sistemas frontais, que percorrem a região sul e sudeste ao longo do ano, sendo que durante o inverno, devido a maior intensidade desses sistemas, pode ocorrer a condição típica para a formação de grandes ondas, com uma zona de alta pressão na sequência de uma zona de baixa pressão (Gobbi, 1997). Já Alves (1996) identificou que as ondas dominantes que atingem a região costeira de São Francisco do Sul são provenientes principalmente de leste-sudeste e em menor intensidade de sul e nordeste.

As ondas, ao chegarem próximo à costa e começarem a interagir com o fundo, geram uma cadeia de processos que podem ser divididos em três zonas dinâmicas, *Wave shoaling zone*, *Surf zone* e *Swash zone* (Short, 1999). Sendo a região onde a onda começa interagir com o fundo até a região em que a onda quebra a *Wave shoaling zone*, a *surf zone* vai desde a área da quebra até o colapso da onda nas partes baixas da face praial e então entrar na estreita região do *Swash zone* que começa no colapso da onda até a porção seca da praia; ao se colapsar a onda se modifica de uma onda relativamente grossa para uma onda pequena que sobe a face praial, perdendo volume, percolando na areia e com a gravidade empurrando a de volta, gerando a *backwash* (Short, 1999).

O processo de esbeltez de ondas acontece com a diminuição da profundidade e a consequente interação da onda com o fundo, causando a diminuição da velocidade seguido do aumento de altura das ondas; ao alcançarem águas rasas as ondas se tornam instáveis e quebram, sendo a relação entre período da onda e a profundidade os fatores que determinam a quebra da onda (Guza & Inman, 1975).

As correntes formadas por ondas podem ser divididas em correntes de retorno e longitudinais. As correntes de retorno, transversais a costa, são originadas pelas ondas que transportam a água para a face praial e pela gravidade, ao devolver

a água acaba gerando a corrente de retorno. Segundo Wright & Short (1984), essas correntes estão relacionadas a praias com estágio morfodinâmico intermediário com presença de barra transversal.

Já as correntes longitudinais, ou correntes de deriva longitudinais, são originadas por ondas que incidem a praia de maneira oblíqua, transportando os sedimentos por suspensão e tração em um trajeto de ziguezague com a direção resultante paralela à linha de costa. No litoral paranaense, próximo a área de estudos. Angulo (1992) apontou que a direção dominante das correntes longitudinais é para norte, devido ao predomínio de ondulações de direção sul e sudeste, pelo observado na morfologia de deltas-de-maré vazante e pela orientação das desembocaduras de rios e riachos na praia.

2.4. BALANÇO SEDIMENTAR E EROSÃO COSTEIRA

A erosão costeira ocorre devido ao déficit no balanço sedimentar, esse processo ocorre ao longo da costa, atingindo praias, falésias, costões rochosos e também as construções. Segundo Komar (1998), para compreender o balanço sedimentar é necessário entender o princípio da conservação da massa, onde em um sistema fechado, a massa total não sofre alteração independente das transformações que ocorram no sistema. Para o balanço sedimentar, sistema aberto, o saldo positivo ocorre quando um determinado volume de sedimento entra no sistema litorâneo e um volume menor sai do sistema, representando o processo de deposição. De modo contrário o saldo negativo do balanço sedimentar ocorre quando um volume maior de sedimento é liberado do sistema, refletindo em erosão costeira. Enquanto que valores baixos podem indicar estabilidade no sistema litorâneo.

Segundo o Bowen & Inman (1966) para realizar a investigação de balanço sedimentar é necessário delimitar e dividir uma área em diversos segmentos, para compreender melhor o ciclo dinâmico presente na região, sendo o transporte e a sedimentação os mais relevantes. Cruz (2010) resumiu os principais mecanismos que influenciam positivamente e negativamente no balanço sedimentar costeiro (Tabela 1).

Tabela 1: Principais mecanismos de crédito e débito de sedimento em um balanço sedimentar costeiro (Cruz, 2010).

Balanço Sedimentar Costeiro		
Créditos	Débitos	Balanço
Transporte longitudinal à costa para dentro do sistema	Transporte longitudinal à costa para fora do sistema	Deposição ou erosão praial
Transporte proveniente de rios e canais de maré	Transporte rumo ao continente, para rios e canais de maré	
Erosão de falésias e costões rochosos	Transporte pelo vento para fora do sistema	
Transporte transversal à costa para dentro do sistema	Transporte transversal à costa para fora do sistema	
Deposição biogênica (concha e fragmentos de corais)	Solução e abrasão	
Deposição hidrogênica	Mineração	
Transporte pelo vento para a praia		
Alimentação artificial de praias		

2.5. LINHA DE COSTA

A linha de costa é a interface entre o oceano e o continente, no entanto, apesar dessa definição simples a posição da linha de costa não é fixa, esta em constante movimento devido à dinâmica costeira (Boak & Turner, 2005). Portanto, a identificação da linha de costa ocorre em diferentes escalas temporais, permitindo a comparação entre períodos. Para a aferição da linha de costa considera-se o limite onde não ocorre a interação direta do continente e do oceano, sendo esse limite representado pela base de dunas frontais ou pelo início de vegetação permanente. Além disso, em se tratando da linha de costa nas porções da praia antropizadas, por enrocamentos ou outras construções, considera-se o limite entre os sedimentos da praia e a base das estruturas artificiais.

2.6. ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS

A alimentação artificial de praias significa colocar sedimentos incosolidados em uma determinada região da praia, sendo a conformação de um novo perfil praial artificial a maneira mais comum de alimentação artificial de praias, funcionando bem para as porções altas do perfil (Colleter, 2017). Compreender o processo erosivo, a granulometria e mineralogia do sedimento da praia são fatores importantes para um projeto de engorda, no entanto, questões econômicas, como o custo de transporte

do sedimento entre a jazida e a praia pode inviabilizar o projeto, caso a distância seja grande (Dean, 2003).

As jazidas de sedimentos podem ser continentais, lagunares ou marinhas; o despejo do sedimento pode ser realizado de maneira mecânica, por exemplo, a distribuição de areia com auxílio de caminhões ou de maneira hidráulica a partir de uma tubulação que dispõe os sedimentos com água, como foi realizado em Balneário Camboriú/SC, GARDEN ENGENHARIA (2019) e Matinhos/PR (IAT, 2013) em 2021 e 2022 respectivamente.

No entanto, a alimentação artificial de praia não precisa ocorrer somente nas regiões emersas da praia. O município de Gold Coast, na Austrália, sofreu com intensos eventos de erosão costeira devido a ocupação urbana em regiões costeiras no século passado e, após diversos projetos e pesquisas, hoje é referência mundial em tecnologia e manejo da costa; com o projeto de *bypassing* sendo umas das soluções mais efetivas para a proteção de praias (Jackson, 2013). O principal projeto de *bypassing* desenvolvido em Gold Coast consiste na engorda sazonal de praias a jusante da desembocadura do rio Tweed, que apresenta espigões em sua foz para melhorar a navegabilidade, mas que interrompeu a deriva longitudinal e causou um déficit no balanço sedimentar, deixando a costa exposta a tempestades (Boswood *et. al.*, 2005). Sendo o cerne desse projeto a utilização de sedimentos da própria foz do rio e a montante da desembocadura, contribuindo para a navegação e acabando com a necessidade de encontrar uma jazida; entre 1974 e 2013 foram movimentados cerca de 49.000.000 m³ de areia para as praias de Gold Coast, sendo 33% em projetos de *bypassing* (Jackson, 2013).

Outra questão aprimorada em Gold Coast foi a de projetos de alimentação da *nearshore*, região submersa da praia. Colleter (2017) preparou um guia para projetos de alimentação artificial na região da *nearshore* e separou em cinco categorias as frentes de trabalho necessárias em um projeto, sendo elas: operação, processos costeiros, social, ambiental e monitoramento. A operação envolve questões de tempo da execução do projeto, dragagem, navegação; processos costeiros enquadram fatores como marés, ondas, ventos e transporte de sedimentos; a social lida com demandas urbanas, uso recreativo e surfe; os aspectos ambientais estão relacionados aos ruídos, plumas e meio ambiente em

geral e por fim o monitoramento envolve o acompanhamento de marés, correntes, ondas, vento e qualidade da água, além de levantamentos batimétricos, registros de fotografias aéreas e comunicação (Colleter, 2017). Na prática, esse projeto costuma ser o melhor custo benefício para fornecer areia para a praia e aumentar a resistência a erosão, visto que é a própria dinâmica costeira através das ondas, marés e correntes modelam o perfil praias supersaturado de areia, apenas com o despejo do sedimento em determinada região submersa (Colleter, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão bibliográfica consistiu na primeira fase do projeto, compreendendo no levantamento de estudos sobre o tema escolhido, elaborados preferencialmente em Itapoá ou em outros locais e, também, trabalhos acerca de processos naturais em ambientes costeiros foram consultados para a compreensão da morfodinâmica praias.

As etapas de campo foram realizadas nas quatro estações do ano, conforme a Tabela 2, totalizando cinco etapas, quatro para os levantamentos planialtimétricos de perfis praias e outra para o levantamento da linha de costa utilizando o GPS de precisão GNSS RTK Stonex S8 Plus, resultando em 10 dias campo. Além disso, nas etapas de campo foram observadas as feições morfológicas e processos dinâmicos que ocorrem ao longo da costa do município de Itapoá.

Tabela 2: Etapas de campo de levantamento de perfis praias e linha de costa.

Outono	Inverno	Primavera	Verão
17 e 18 de junho/2022	19 e 20 de setembro/2022	06 e 07 de dezembro/2022	05 de janeiro/2023
		RTK - 20 e 21 de novembro, 07 e 08 de dezembro/2022	

Os levantamentos planialtimétricos foram realizados utilizando um nível de precisão, mira graduada, régua e trena. Os perfis foram posicionados perpendiculares a linha de costa e amarrados em muros, postes ou estacas e foram considerados como zero relativo para as medidas realizadas em sequência durante o levantamento daquele mesmo perfil. Os pontos medidos foram escolhidos a partir da variação morfológica encontrada no perfil, como no topo e base de dunas frontais e escarpas de tempestades, na linha de deixa e linha da água, além de pontos

submersos até onde era possível manter a régua estável (Figura 4). Os dados obtidos foram plotados no software *Microsoft Excel* (versão 2010) para a elaboração de planilhas de cálculos, análise estatística e confecção de gráficos ilustrando os perfis de praia levantados.



Figura 4: A) Mira graduada e nível de precisão. B) Régua.

Os dados dos pontos dos perfis de praias foram plotados no software *Surfer* (*Golden Software, versão 24.01, 2022*) para realizar o cálculo de volumes erodidos e depositados. Para isso, os valores de cota e distância foram vetorizados e a largura de cada perfil foi considerada de um metro, originando polígonos com área superficial e volume próprio. O cálculo de volumes erodidos e depositados ocorre com a subtração de um volume com outro do mesmo perfil. Como cada perfil apresentou distâncias diferentes entre os levantamentos, foi considerado somente a distância comum entre cada perfil praias.

A linha de costa foi definida através de imagens de satélite em alta resolução, 4800 x 3027 pixels, disponíveis no software *Google Earth Pro* (versão 7.3.4) de fevereiro de 2021 e também por levantamento de GNSS RTK entre novembro e dezembro de 2022, o GPS foi configurado no modo automático para adquirir dados a cada 5 segundos enquanto foi executado caminhamento pela linha de costa, por aproximadamente 20km lineares de praia (Figura 5). Em praias com porções preservadas a linha de costa foi definida pela base de dunas frontais ou base de escarpas de tempestades, já em porções destruídas a linha de costa foi definida pela base de enrocamentos, muros ou paliçadas. Em alguns pontos onde essas intervenções antrópicas foram instaladas não foi possível acessar, pois mesmo com a maré baixa a base dessas estruturas ficava constantemente

submersa, sendo necessário realizar a coleta dos pontos, em modo manual, próximos ao topo da estrutura. Não foi necessário realizar o pós-processamento dos dados adquiridos e a tabela de pontos e arquivos KML foram extraídos do GPS e plotados no software *ArcGIS* (versão 10.6) para comparar com as linhas de costa identificada por Ligeski (2016).



Figura 5: A) Base fixa do GNSS RTK. B) Rover do GNSS RTK durante caminhada.

4. RESULTADOS

4.1. VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS

Ao total foram realizados 20 levantamentos planialtimétricos de perfis de praia. A intenção inicial era o completo monitoramento de oito perfis praias entre as quatro estações do ano, totalizando 32 levantamentos. No entanto, devido a questões de acessibilidade, clima e logística não foi possível realizar todos os levantamentos desejados. Principalmente o Perfil-03, que está com a porção emersa do perfil praias completamente erodida, apresentando enrocamento relativamente alto instalado em frente as edificações e não há áreas de acesso seguras a praia nessa região, inviabilizando os levantamentos planialtimétricos durante as quatro estações do ano.

Os perfis foram amarrados conforme a Tabela 3. Sendo que, a partir da comparação entre os perfis levantados em estações diferentes e por observações realizadas durante as etapas de campo foi possível identificar alterações na morfologia das praias.

Tabela 3: Coordenadas dos pontos de amarração dos perfis de praia. Datum SIRGAS 2000.

Perfil	Coordenadas UTM
01	739443/7119525
02	739141/7117480
03	739028/7115197
04	739677/7112288
05	739761/7110357
06	740047/7108378
07	740837/7105514
08	741446/7103735

Os perfis 1, 2 e 8 foram levantados em todas as etapas e apresentam linha costa delimitadas por feições naturais, enquanto que os perfis restantes são delimitados por estruturas artificiais. Assim sendo, a Tabela 4 apresenta o resultado do monitoramento da variação da linha de costa nos perfis 1, 2 e 8 em relação ao período de levantamento. Já a Tabela 5 indica o resultado da variação volumétrica dos perfis de praia entre os períodos pesquisados.

4.1.1. Perfil 01

Durante o levantamento de outono, em junho, o perfil praiar era composto por um cordão de duna frontal, recoberto por vegetação rasteira, definindo a linha de costa, por uma berma que compreende quase toda extensão do perfil e pela face praiar, com presença de cúspides incipientes com o espaçamento entre as cristas de aproximadamente 50 metros (Figura 6). Já na *nearshore* foi observado a presença de um canal longitudinal contínuo e canais transversais que cortavam a barra longitudinal.

Já em setembro, a morfologia da praia apresentou a ausência do pós-praia, contando com face praiar limitada por uma escarpa de tempestade, com cerca de 1,20 metro de altura, instalada no cordão de duna frontal. Na *nearshore* foi identificada somente uma zona de arrebentação, não apresentando canais ou barras paralelas, sendo essas mesmas morfologias encontradas no levantamento de dezembro.

Em janeiro de 2023 a escarpa de tempestade apresentava altura de aproximadamente 1 metro, o pós-praia se encontrava curto e a face praiar nas cúspides eram incipientes, com espaçamento de aproximadamente 30 metros entre

as cristas. A *nearshore* apresentou uma zona de arrebenção de aproximadamente 50m.



Figura 6: A) Morfologias identificadas em junho/2022. B) Escarpa de tempestade destacada no perfil de praia em setembro/ 2022. C) Pós-praia incipiente identificado em dezembro/2022. D) Pós-praia incipiente identificado em janeiro de 2023.

O Gráfico 1 apresenta o resultado dos levantamentos realizados no Perfil-01, indicando uma variação na morfologia a partir do outono com a instalação da escarpa de tempestade no cordão de duna frontal, recuo total da linha de costa em 1,20 metro, erosão de cerca de 53 m^3 de areia entre junho e setembro com a deposição de aproximadamente 23 m^3 até janeiro, gerando um déficit de 21 m^3 .

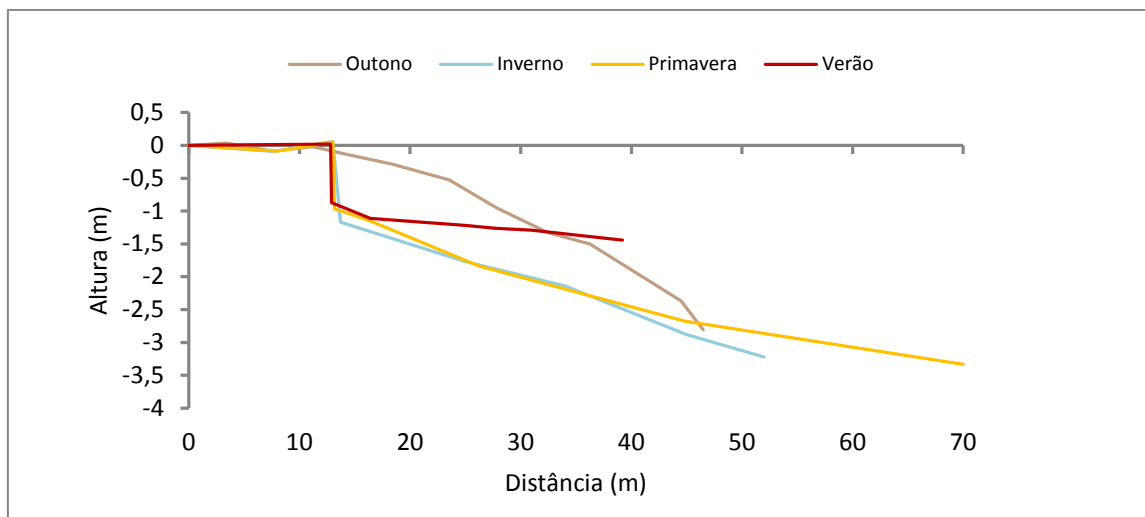


Gráfico 1: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-01.

4.1.2. Perfil 02

O Perfil 02 apresentou mudanças principalmente entre os levantamentos de outono/inverno e primavera/verão. No outono de 2022 a praia era composta por um cordão de duna frontal, coberto por vegetação rasteira, havia um extenso pós-praia com cerca de 20 metros, pela face praial com cúspides de aproximadamente 10 metros de largura entre as cristas, canal e barra longitudinais na *nearshore*.

No inverno e primavera a porção do *nearshore* apresentava canal e barras longitudinais e canais transversais cortando a barra. Já a face praial apresentou cúspides maiores e mais espaçadas, um pós praia curto com cerca de 2 metros extensão e a linha de costa era definida pela base da escarpa de tempestade instalada na duna frontal.

Já no verão, a região do *nearshore* apresentava somente uma zona de arrebenção extensa, na face praial foi identificado cúspides incipientes e o pós-praia se apresentou mais extenso. A linha de costa foi delimitada na base da escarpa de tempestade na duna frontal.



Figura 7: A) Morfologias identificadas em junho/2022. B) Pós-praia próximo à linha de costa, setembro/2022. C) Canal e barra longitudinais observadas em dezembro/2022. D) Morfologias identificadas em janeiro/2023.

O Gráfico 2 mostra o relevo praial levantado durante todas as estações do ano. Sendo que, a principal alteração ocorreu entre o outono e inverno onde houve a instalação de uma escarpa de tempestade, com cerca de 1,25 metro de altura, na região de duna frontal, a retração da linha de costa em 2,15 metros, o recuo do limite inferior do pós-praia para próximo da linha de costa e a erosão de -43 m^3 de sedimentos arenosos. Já no verão a escarpa apresentava aproximadamente 1 metro de altura, a linha de costa havia recuado 2,50 metros em relação ou outono, o pós-praia estava mais extenso e o volume depositado entre o inverno e o verão somou 30 m^3 , totalizando um saldo de aproximadamente -13 m^3 entre o primeiro e o último levantamento.

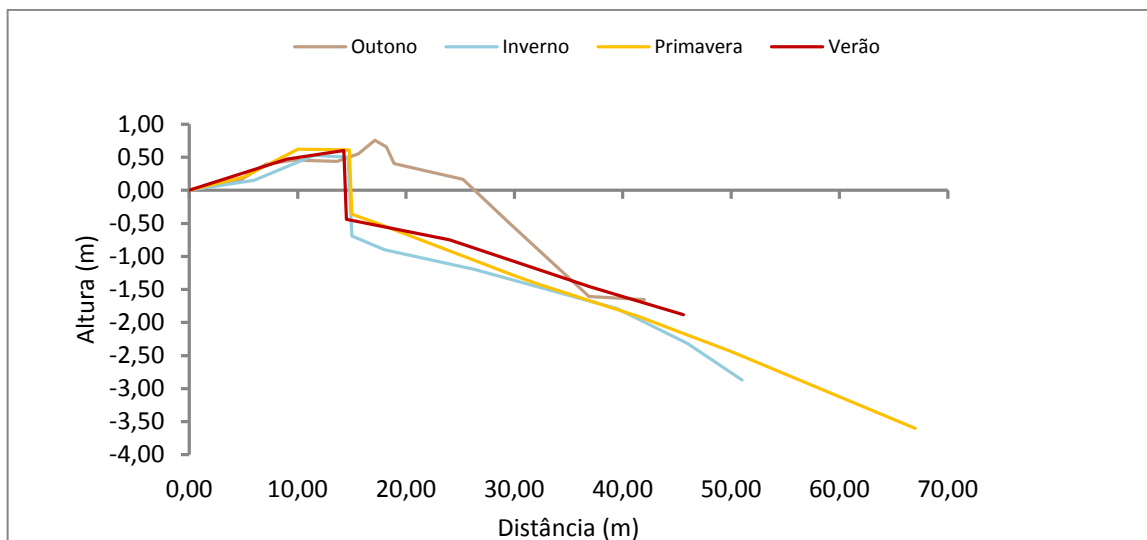


Gráfico 2: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-02

4.1.3. Perfil 03

No Perfil-03 foi encontrado um perfil praial completamente descaracterizado, apresentando enrocamentos cujas bases ficam constantemente submersas (Figura 8). Impossibilitando um levantamento planialtimétrico seguro e representativo, visto que a distância da seção transversal da praia levantada seria pouco expressiva e a observação da variação da morfologia limitada a região da *nearshore*.

Assim sendo, as observações constataram que entre o outono e inverno ocorria uma extensa zona de arrebenção na *nearshore*, enquanto na primavera e verão foram observadas duas zonas de arrebenção, com canais longitudinal e canais transversal cortando uma barra paralela (Figura 8). Além disso, foi constatado a instalação de um enrocamento nas proximidades ao Perfil 03, mostrando que as obras de contenção continuam sendo construídas.

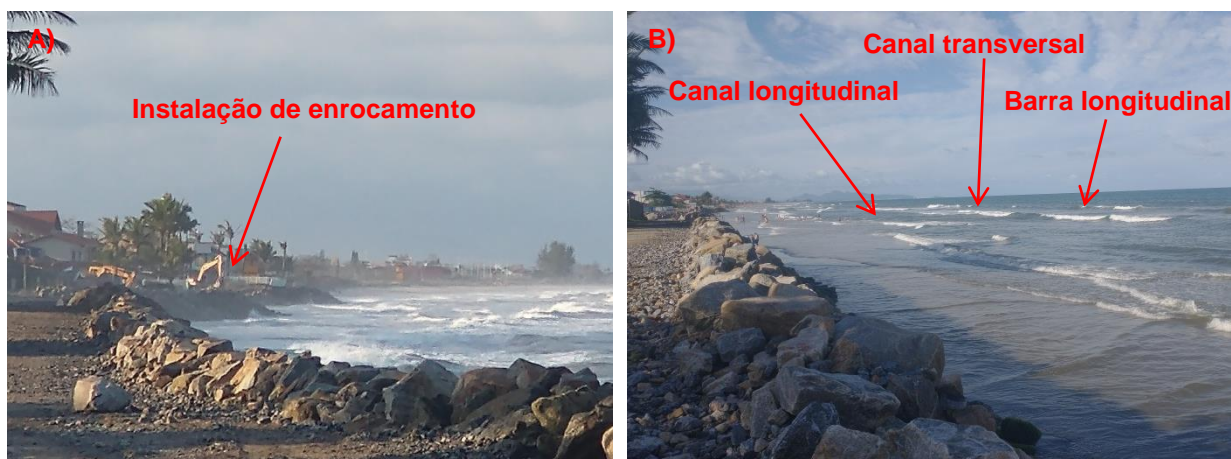


Figura 8: A) Instalação de enrocamento em setembro/2022. B) Morfologias observadas na *nearshore*, janeiro/2023.

4.1.4. Perfil 04

Este perfil apresentou enrocamento em contato com a porção da face praial em todos os levantamentos, não ocorrendo a região do pós-praia. Cúspides incipientes e espaçadas foram identificadas no outono e verão na face praial. E na *nearshore* foram observadas barras e canais longitudinais em todos os levantamentos, sendo constatados também canais transversais.



Figura 9: A) Perfil praial 04, junho/2022. B) Principais morfologias identificadas em setembro/2020. C) Aterro erodido, dezembro/2022.

A região que abriga o Perfil 04 aparentemente não apresentou alterações marcantes entre o outono e o verão. No entanto, o Gráfico 3 ilustra a variação ocorrida no perfil praial, sendo constatado que entre o outono e inverno ocorreu a principal alteração, com o topo da face praial deslocada aproximadamente 1 metro para baixo no inverno, com o volume de areia erodido em 21 m³. Já entre o inverno e a primavera o perfil não apresentou mudanças significativas. O levantamento de verão não foi realizado por questões de logística.

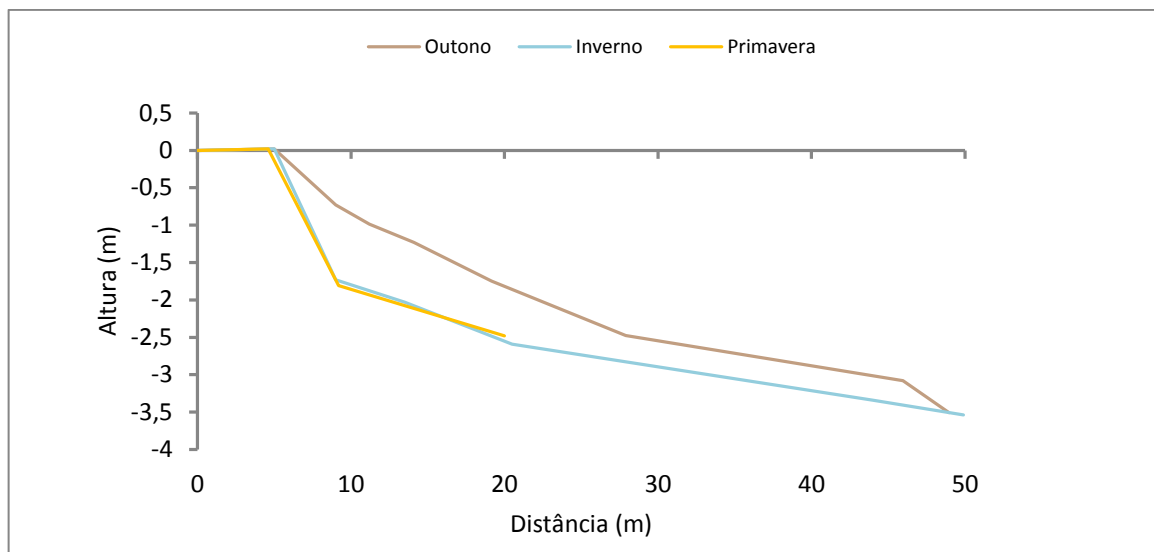


Gráfico 3: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-04

4.1.5. Perfil 05

O Perfil 05 foi levantado entre o outono e inverno, e apresentou a base do enrocamento em contato com a face praial em ambos os levantamentos. Na região da *nearshore* foram observadas canais longitudinais e transversais e também barras paralelas (Figura 10).

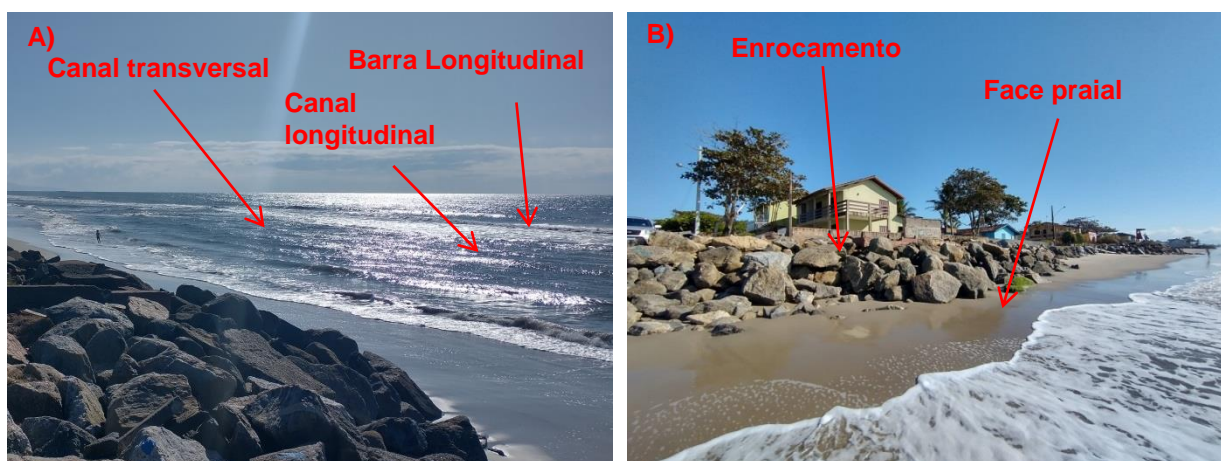


Figura 10: A) Feições morfológicas identificadas na *nearshore*, junho/2022. B) Face praial em contato com enrocamento, junho/2022.

O Perfil 05 se mostrou praticamente estável entre o outono e inverno com o deslocamento de aproximadamente 20 cm na altura da base do enrocamento, conforme ilustra o Gráfico 4.

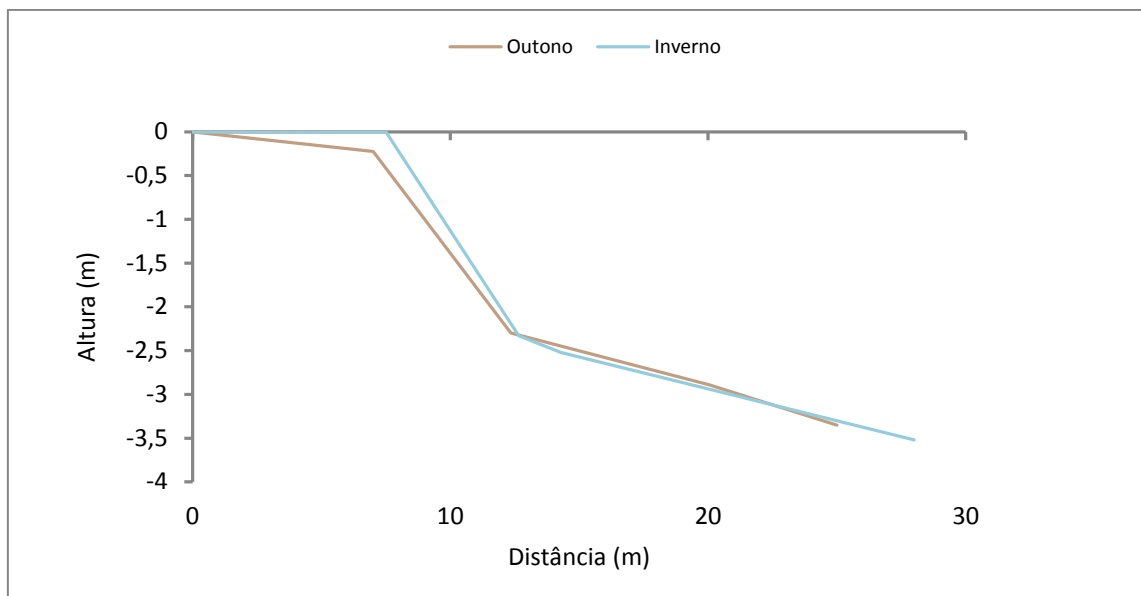


Gráfico 4: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-05.

4.1.6. Perfil 06

Este perfil foi levantado somente em junho de 2022, apresentando enrocamento em contato com a região da face praial. Na *nearshore* a zona de arrebentação era cortada por canais transversais, porém não foram observados canais ou barras longitudinais (Figura 11).



Figura 11: Enrocamento e aterro em via pública.

O Gráfico 5 apresenta o perfil praial levantado em junho de 2022.

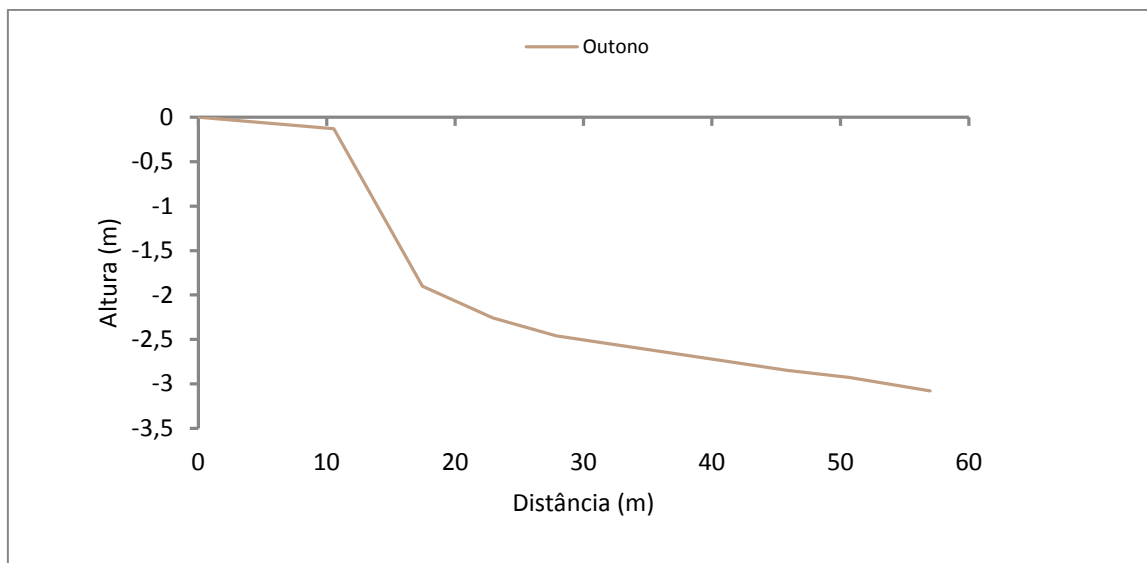


Gráfico 5: Levantamento do Perfil-06

4.1.7. Perfil 07

A região do Perfil 07 não apresentou alterações morfológicas significativas entre os levantamentos de junho e setembro de 2022. Com a base de enrocamentos em contato com a região da face praial (Figura 12). Foi constatado somente uma zona de arrebenção na porção da *nearshore* e não foram observados canais ou barras longitudinais ou transversais.



Figura 12: Morfologias observadas em junho/2022.

Já o Gráfico 6 ilustra os perfis praias levantados e evidencia os cerca de 10 m³ de areia erodidos na região da face praial e *nearshore*, entre junho e setembro de 2022.

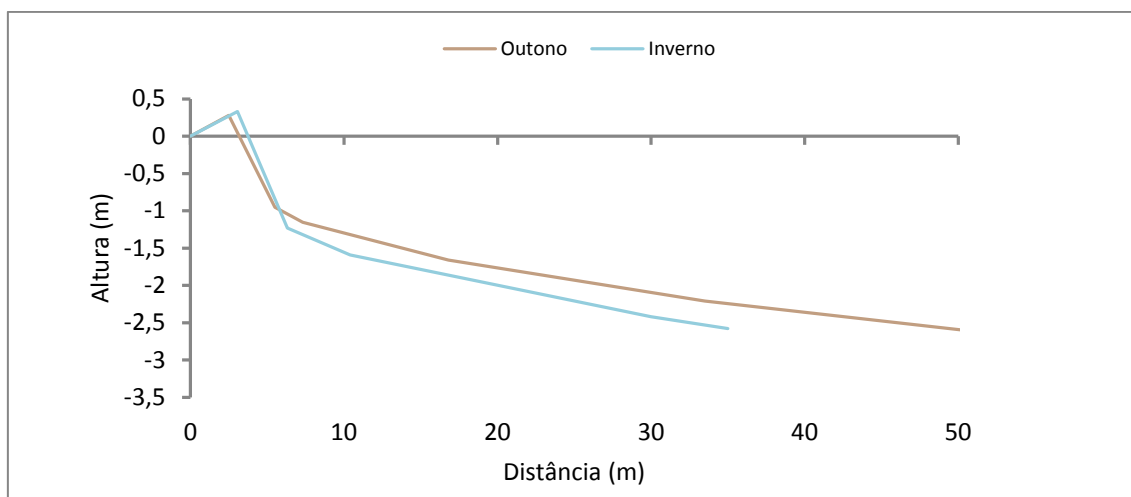


Gráfico 6: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-07.

4.1.8. Perfil 08

O Perfil-08 é o perfil localizado mais ao sul e sofre influência direta das correntes de maré da desembocadura da Baía da Babitonga, sendo nítida a diferença nas feições morfodinâmicas com os demais perfis. A região de costa deste perfil apresenta antigo enrocamento próximo a residências, o que indica uma antiga linha de costa artificial. Durante os levantamentos a linha de costa foi delimitada pela vegetação rasteira na base de um cordão de dunas frontais a cerca de 30 metros de distância dos antigos enrocamentos, indicando processo de acreção da praia, em escala anual a linha de costa sofreu recuo de 45 cm. Na região do pós-praia e face praial foram identificados bermas e cúspides incipientes, respectivamente. Já a *nearshore* apresentou apenas uma curta zona de arrebenção durante as observações.



Figura 13: A) Feições morfológicas observadas em junho/2022. B) Feições morfológicas observados em janeiro/2023.

Mas apesar das descrições das observações morfológicas não sofrerem mudanças significativas, o perfil praial e o cálculo de volume indicou alterações notórias entre todas as estações. Entre o outono e inverno cerca de 23 m^3 de areia foram erodidos e a linha de costa recuou 60 cm, entre o inverno e a primavera aproximadamente 30 m^3 foram depositados e houve avanço de 50 cm da linha de costa. Já entre a primavera e verão foi calculado uma perda de 47 m^3 de areia e retração de 35 cm na linha de costa. No total o Perfil 08 perdeu cerca de 41 m^3 de sedimento arenoso e a linha de costa recuou 45 cm.

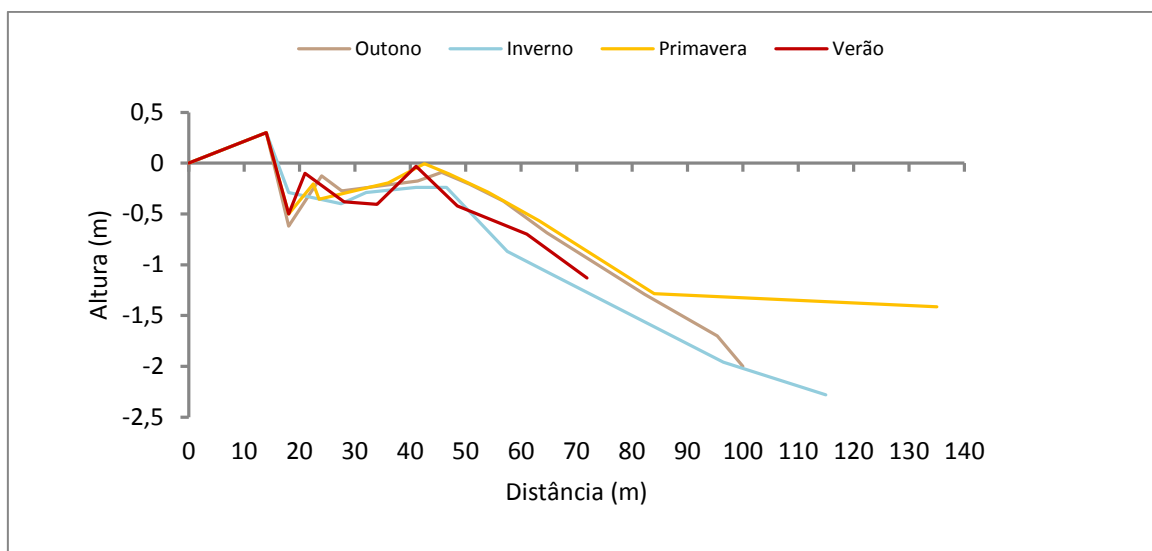


Gráfico 7: Comparativo entre os levantamentos do Perfil-08.

Os valores relativamente elevados nesse perfil devem-se a sua maior extensão em relação aos outros. Além disso, devido a sua posição geográfica encaixada na desembocadura da Baía da Babitonga e pela sombra feita pela ilha de São Francisco do Sul em relação às ondas está região sofre maior influência das marés e menor de ondas em comparação aos outros perfis.

Por fim, realizar uma investigação comparando diretamente os perfis praias levantados nessa pesquisa com os de Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e Silva (2018) se mostrou imprudente para atingir resultados representativos a realidade, pois a constante erosão e a crescente urbanização acabam modificando as características da praia e da costa, impossibilitando de amarrar os perfis com precisão em relação aos levantados por outros pesquisadores. Além disso, perfis que apresentam estruturas antrópicas como forma de contenção da linha de costa necessitam de uma atenção especial para que sejam bem delimitados, pois podem apresentar subsidência, mesmo permanecendo horizontalmente estáticos. Por exemplo, o perfil 04 que apresentou cerca de -1 metro de variação de altura entre o inverno e outono na linha de costa, projetada na base de enrocamento, indicando uma possível subsidência devido a perda de cerca de -20 m^3 de areia, que sustenta essa estrutura.

4.2. LINHA DE COSTA

A identificação da linha de costa nos perfis de praias permitiu pontuar avanços e recuos na região dos perfis que apresentam linha de costa natural, conforme mostra Tabela 4.

Tabela 4: Variação na posição da linha de costa por período (m).

Perfil\Período	Outono/Inverno	Inverno/Primavera	Primavera/Verão	Outono/Verão
Perfil 01	- 0,40	- 0,55	- 0,25	- 1,20
Perfil 02	- 2,15	+ 0,05	- 0,50	- 2,50
Perfil 08	- 0,60	+ 0,50	- 0,35	- 0,45
Média	- 1,05	0	- 0,37	- 1,40

Foi constatado o recuo na linha de costa nos perfis 01, 02 e 08 entre o primeiro levantamento realizado em junho de 2022 e o último em janeiro de 2023. Além disso, com exceção do levantamento de setembro e dezembro de 2022 nos perfis 02 e 08, houve recuo da linha de costa entre todos os períodos levantados.

Monitorar a variação da linha de costa permite quantificar o seu avanço ou recuo, além de possibilitar o cálculo de área entre cada período levantado. No entanto, para realizar uma comparação regional com precisão é necessário que a metodologia para a definição da linha de costa seja realizada seguindo os mesmos parâmetros e escala. Portanto comparar dados adquiridos através de fotos aéreas, com imagens de satélite e dados de GPS de precisão pode apresentar discrepâncias na proporção de dezenas de metros, tornando essa investigação regional limitada.

Apesar disso, pontualmente em áreas em que o processo erosivo se encontra mais acentuado a análise temporal e local da linha de costa se mostra esclarecedora, como ilustra a Figura 14 em que a erosão costeira causou o recuo da linha de costa, gerando a destruição de via pública e de propriedades privadas.



Figura 14: Variações da linha de costa próxima a 3ª Pedra. Seta em vermelho aponta para recuo da linha de costa em propriedades particulares e a seta amarela aponta para recuo da linha costa em via pública. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).

Já a Figura 15 mostra regiões com presença de enrocamento que retêm linha de costa estável, mas que em suas adjacências ocorrem acentuados recuos.



Figura 15: Variações da linha de costa. Setas em vermelho apontam para áreas com recuo da linha de costa e setas em amarelo para regiões enrocadas relativamente estáveis. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).

Outro aspecto relevante é a ocupação urbana que avançou nas proximidades da costa, entre 2009 e 2022, como mostra a Figura 16. Também é

possível observar o abandono de uma parte de uma antiga via pública principal que foi danificada pela erosão costeira e teve seu trajeto readequado, além de uma área em que havia vegetação de restinga e agora se apresenta enrocamento.



Figura 16: Variações da linha de costa. Setas em vermelho indicam o recuo da linha costa em relação à restinga, setas amarelas indicam via pública danificada pelo recuo da linha de costa e setas azuis apontam para região que sofreu enrocamento entre os registros. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).

A parte esquerda da Figura 17 mostra os sucessivos recuos da linha de costa através da comparação das linhas de costas apresentadas, na parte direita é

possível observa que no local onde foi instalado enrocamento a linha de costa se manteve relativamente estável.

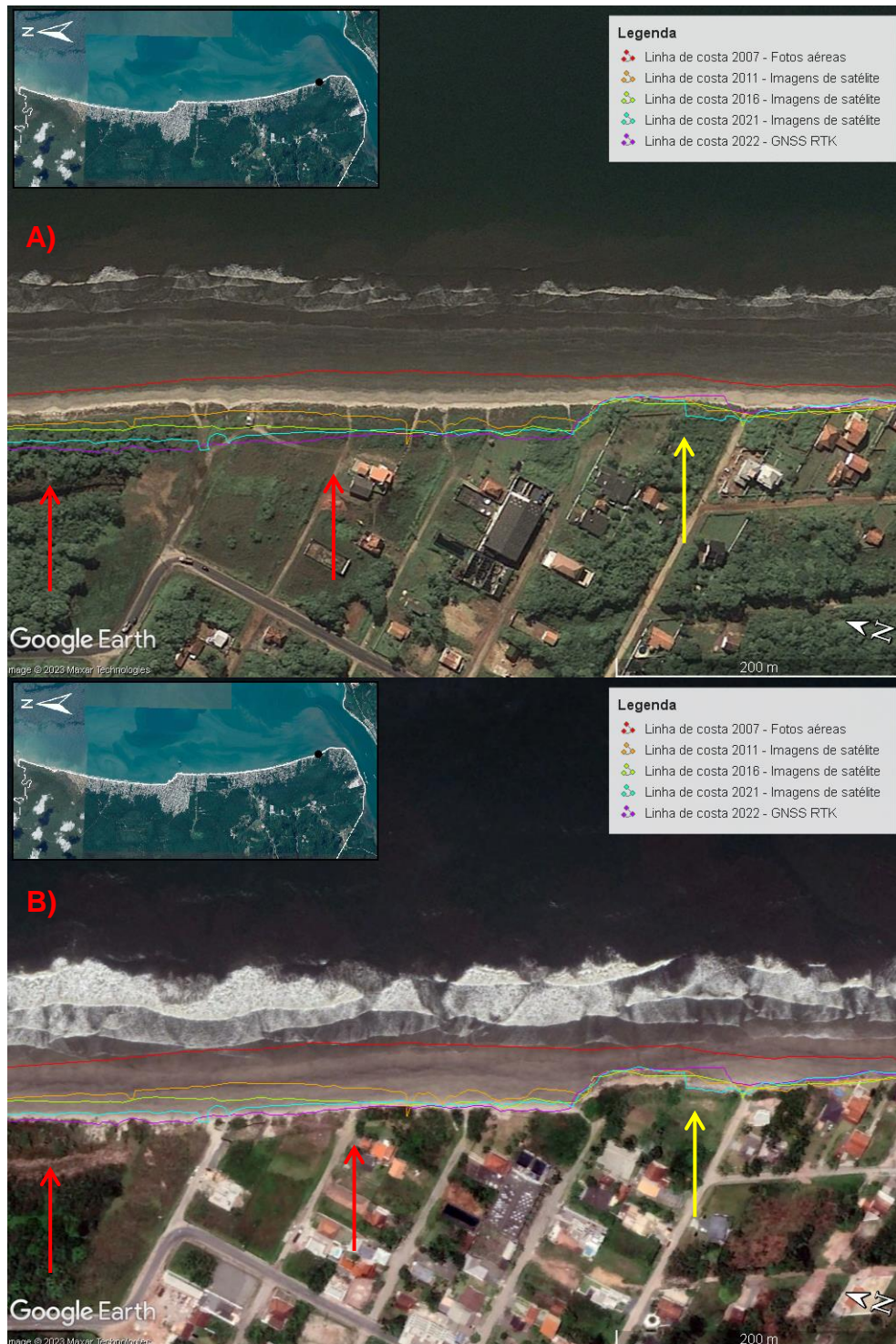


Figura 17: Variações da linha de costa. Setas em vermelho indicam o recuo da linha de costa e setas em amarelo apontam para enrocamento. A) imagem de 2009. B) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).

Já a Figura 18 mostra o caso particular da região do perfil 08, que fica localizado na desembocadura da Baía da Babitonga, é possível observar o avanço e

recuo da linha de costa e a alteração no trajeto original da estrada principal que passava próximo a praia em 2003 e teve de ser desviado.

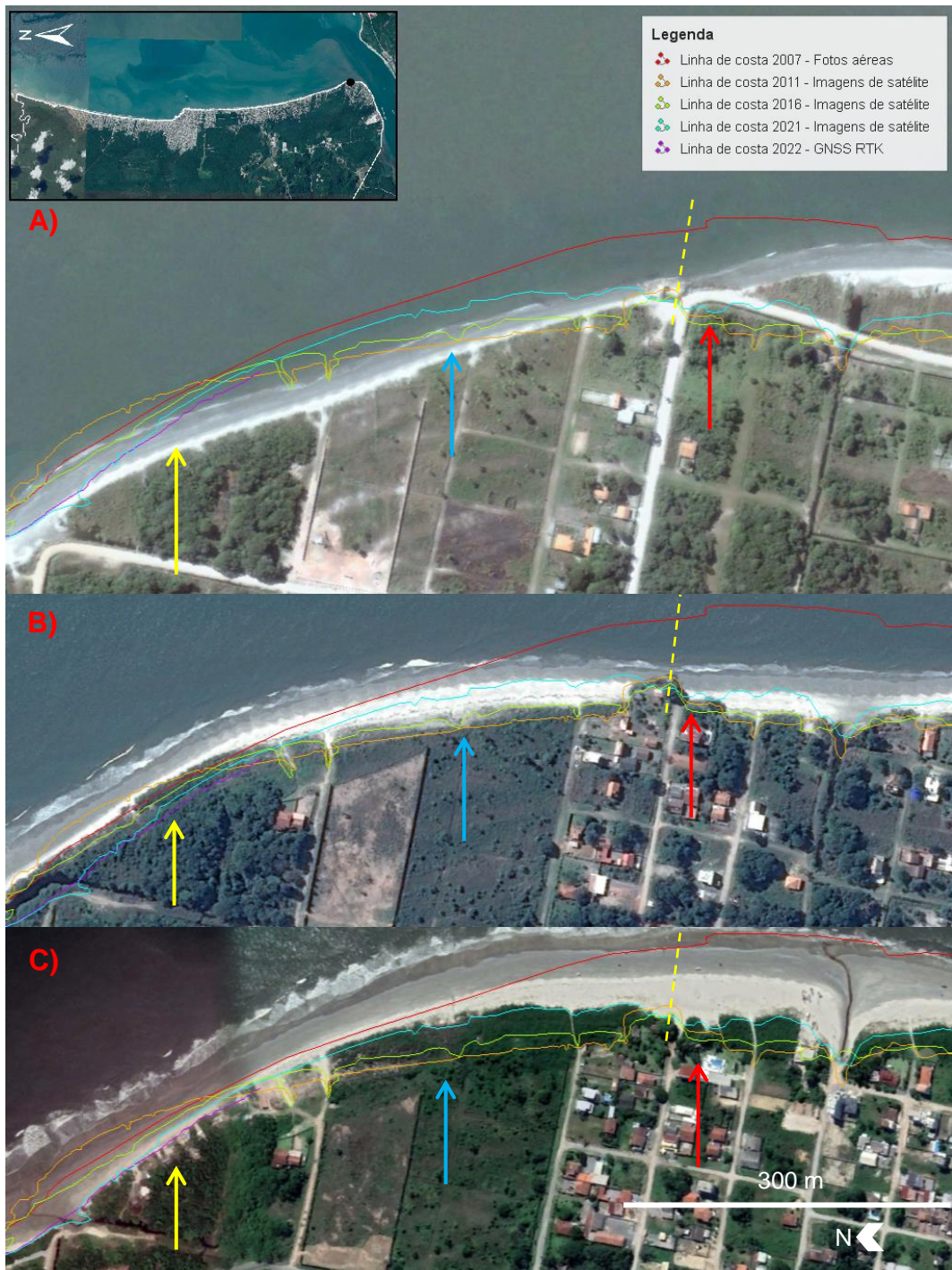


Figura 18: Variações da linha de costa. Linha amarela tracejada indica o perfil 08, seta em amarelo aponta para região onde avanço da linha de costa e posterior recuo, enquanto a seta azul mostra uma área em que houve avanço na linha de costa. Seta vermelha revela via pública principal arruinada. A) imagem de 2003. B) Imagem de 2014. C) Imagem de 2022, fonte: Google Earth Pro, 2023).

Assim sendo, a análise temporal mostra o constante recuo da linha de costa entre os anos, indicando o predomínio da erosão em relação a deposição, regiões

adjacentes a enrocamentos tendem apresentar recuos na linha de costa com mais intensidade, algumas regiões tiveram edificações construídas muito próximas a praia e agora estão em risco. Além da mata nativa, residências, estabelecimentos comerciais e estruturas públicas são destruídos com o recuo da linha de costa, causando risco e prejuízo a sociedade civil.

Dos cerca de 21 km percorridos com o GPS RTK aproximadamente 9 km apresentavam linha costa artificial, principalmente enrocamentos seguidos de muros de contenção e paliçadas de madeira. O Apêndice I apresenta a figura da variação da linha de costa entre os anos 2007, 2011 e 2016 apresentadas por Ligeski (2016) e as determinadas nessa pesquisa de 2021 e 2022.

5. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os levantamentos planialtimétricos foi possível calcular a variação volumétrica dos perfis, como não foi realizada a medição de todos os perfis praias entre as estações do ano a investigação das variações volumétricas ficou limitada a regiões e ao período levantado. A Tabela 5 apresenta o resultado obtido da variação dos volumes de sedimentos para os perfis. Sendo que, o perfil 3 não foi levantado em nenhuma das etapas e o perfil 06 somente no outono, impossibilitando o cálculo de alteração do volume. Assim sendo, a análise do balanço sedimentar foi dividida entre os perfis 01 e 02; perfis 04, 05 e 07 e o perfil 08.

Tabela 5: Resultado da variação do volume de sedimentos por períodos (m³).

Perfil\Período	Outono/ Inverno	Inverno/ Primavera	Primavera/ Verão	Outono/ Verão	Média
Perfil 01	- 53,0	- 0,8	+ 32,0	- 21,8	-10,9
Perfil 02	- 43,5	+ 19,0	+ 11,2	- 13, 2	-6,6
Perfil 04	- 21,1	+ 01,9			-9,6
Perfil 05	- 02,2				
Perfil 07	- 10,6				
Perfil 08	- 23,1	+ 30,1	- 47,7	- 40,6	-20,3
Média	- 25,6	+ 12,6	- 01,4	- 25,2	

Os volumes, distribuídos nos 6 perfis praias, variou entre junho e setembro negativamente entre todos os perfis, indicando maior intensidade em processos erosivos do que deposicionais, com uma média de cerca de -25 m³.

Os perfis 01 e 02, ao norte da primeira pedra, foram os que mais apresentaram déficit de sedimentos entre as etapas de outono e inverno, com uma média de cerca de -48 m^3 por metro linear de praia, já entre o inverno e a primavera o perfil 01 se apresentou relativamente estável e o perfil 08 teve acreção de quase 19 m^3 . Entre a primavera e o verão o perfil 01 e 02 tiveram uma variação de sedimentos positiva de cerca de 32 e 11 m^3 respectivamente. Porém, mesmo com esse aporte durante parte do verão o saldo final do balanço sedimentar foi negativo de aproximadamente -21 e -13 m^3 respectivamente. O que indica a predominância de processos erosivos em relação aos processos deposicionais nessa região de Itapoá.

Já os perfis 04, 05 e 07, ao sul da Primeira Pedra, podem ser utilizados para uma análise entre as etapas de outono e inverno, que indica uma variação negativa do volume de sedimentos significativa para os perfis 04 e 07 de aproximadamente -20 e -10 m^3 respectivamente, enquanto o perfil 06 teve uma alteração negativa pouco expressiva, assim como a alteração positiva registrada no perfil 04 entre o inverno e a primavera, indicando a estabilidade nesses períodos e regiões.

O perfil 08 apresentou um comportamento particular em relação aos outros, devido ao fato de estar localizado na desembocadura da Baía da Babbitonga, sofre mais influência de correntes de marés do que das ondas. Apenas entre as etapas de inverno e primavera houve variação volumétrica positiva, no verão foi identificado um déficit de cerca de -48 m^3 em relação a etapa de primavera, totalizando um saldo negativo de -40 m^3 . Apesar de apresentar a tendência erosiva no balanço sedimentar, vale ressaltar que essa região apresenta avanço da linha de costa nos últimos anos. Portanto, para entender os processos que ocorrem nessa região se sugere realizar levantamentos em um período maior e entre eventos que possam influenciar a dinâmica da desembocadura, como as marés meteorológicas, marés de sizígia e de quadratura, e tempestades que ocorrem simultâneas a marés vazantes que aumentam a vazão dos rios que desaguam na baía e conseqüentemente aumentam a vazão da baía.

Com a variação dos volumes é possível calcular a taxa média semanal sazonal e total nos perfis levantados, essa análise proporciona uma noção para a movimentação semanal de sedimentos na praia. A Tabela 6 apresenta essa média

semanal entre as estações nos perfis que apresentam linha de costa naturais, indicando que na média entre os levantamentos, semanalmente ocorre a perda entre -0,5 e -1,4 m³ de sedimentos. Sendo a taxa negativa mais significativa a de -11,5 m³ entre a primavera e o verão no perfil 08, e a positiva de 7,7 m³ entre a primavera e o verão no perfil 01.

Tabela 6: Taxa de variação média volumétrica semanal entre os levantamentos (m³).

Perfil\Período	Outono/Inverno	Inverno/Primavera	Primavera/Verão	Outono/Verão
Perfil 01	-3,9	-0,1	+7,7	-0,8
Perfil 02	-3,2	+1,7	+2,7	-0,5
Perfil 08	-1,7	+2,7	-11,5	-1,4

A falta da cobertura completa do monitoramento dos perfis interfere na análise regional geral, mas não impede a análise sazonal entre os próprios perfis. Como os perfis levantados nesse estudo não foram diretamente comparados com os levantados em outros estudos, não é foi determinado uma variação de volume dos perfis levantados anteriormente. No entanto, os valores encontrados apresentam a tendência de domínio da erosão em relação a deposição, visto saldo negativo do balanço sedimentar. Assim sendo, as variações de volume e taxas encontradas por cada autor podem ser comparadas e corroboram com as pesquisas realizadas por Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e Silva (2018), que indicam o déficit no balanço sedimentar de Itapoá.

A investigação dos perfis praias permitiu realizar uma análise sazonal entre as variações morfológicas e volumétricas de perfis de praia, indicando a predominância de processos erosivos. Mas apesar do resultado direto da aplicação do método, outras questões podem ser colocadas em discussão, como a possibilidade de alocação de novos perfis, principalmente para as regiões com enrocamentos altos, por exemplo, os perfis 03 e 05, que apresentam risco mais elevado para o trabalho de campo. Determinar e identificar pontos de amarra com precisão, para permitir comparação direta entre os levantamentos realizados por pesquisadores diferentes. Padronizar a metodologia utilizada no levantamento planialtimétrico dos perfis em Itapoá, sugere-se o emprego do GNSS RTK, pois além de gerar dados digitais com erros menores que 2 cm, se configurado de maneira correta, permite o trabalho de campo individual, em vez de pelo menos duas

pessoas utilizando a mira, trena, régua, lápis e caderneta, tornando a etapa de campo mais otimizada.

A mesma reflexão pode ser feita para a análise da linha de costa, onde Souza (1999) identificou a linha utilizando fotografias aéreas, Cruz (2010) e Ligeski (2016) identificaram a partir de imagens de satélite e nesse estudo por imagens de satélite e por caminhamento com o GNSS RTK. Ligeski (2016) identificou a variação da linha de costa de maneira regional e calculou um perca significativa de área em aproximadamente 40 hectares entre 1995 e 2016. Porém cada uma dessas metodologias apresentam limitações, como as diferentes escalas entre levantamentos de fotografias aéreas, a resolução baixa de imagens de satélite e a dificuldade de levantamento de campo com o GPS de precisão. Além disso, a operação dessas ferramentas deve ser feita de modo padronizado, seguindo uma mesma diretriz, para que a confrontação de dados de diferentes autores possa ser realizada satisfatoriamente. Em vista disso, essa pesquisa não buscou quantificar o recuo da linha de costa em relações a outras pesquisas.

Assim sendo, essa pesquisa sugere a criação de uma cartilha para a realização de levantamentos em Itapoá seguindo um mesmo padrão, tanto para os perfis praias quanto para a definição da linha de costa, para possibilitar a comparação e simplificar o monitoramento.

Em relação ao balanço sedimentar, os resultados encontrados mostram o saldo negativo, assim como Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e Silva (2018), logo, essa tendência erosiva é registrada a mais de 20 anos. Fenômenos climáticos globais como o El Niño e La Niña podem interferir na intensidade dos processos erosivos em Itapoá, conforme Souza (1999), porém em períodos de condições normais o município de Itapoá também apresenta a predominância de processos erosivos (Cruz, 2010). Sendo que, Angulo & Souza (2003) apontam que a principal hipótese para explicar o déficit sedimentar em Itapoá são as dragagens do canal externo de acesso ao Porto de São Francisco do Sul que formam uma armadilha para os sedimentos transportados pela deriva litorânea, interrompendo o fluxo natural de sedimentos que ocorria no lobo frontal do delta de vazante da Baía da Babitonga.

Considerando a causa do déficit no balanço sedimentar, a atual situação das praias de Itapoá, as novas campanhas de dragagem e aos programas e projetos mitigatórios presentes no processo de licenciamento ambiental, que incluem a alimentação artificial de praias com os sedimentos da dragagem, sugere-se a adoção de uma cultura consciente de alimentação utilizando o *bypassing* na Baía da Babitonga, para que as não somente em campanhas de dragagens planejadas pela Administração do Porto de São Francisco ocorra o *bypassing* na região e que caso seja necessário essas intervenções sejam feitas de maneira sazonal. Além de, desenvolver expertise com esse tipo de empreendimento que demanda constante monitoramento e envolve a qualidade de vida da população de regiões costeiras. Além disso, após a engorda de praia nas porções altas do perfil praiial é indicado que alimentação ocorra na região da *nearshore* para que as ondas e correntes litorâneas moldem a praia, prevaleçam as feições naturais e mantenham o sistema supersaturado de areia, atenuando os eventos erosivos Colleter (2017).

Todo empreendimento envolve riscos e oportunidades, e o projeto de alimentação artificial de praias de Itapoá tem a oportunidade de ser o primeiro exemplo brasileiro de sustentabilidade com utilização de *bypassig* em uma desembocadura através da dragagem de readequação e aprofundamento do canal de acesso da Baía da Babitonga, com sedimentos compatíveis e limpos (Simões Neto, 2021). Entretanto, os riscos de um empreendimento desse porte, envolvem questões sociais, ambientais, financeira e técnicas, faz com que o planejamento e execução do projeto sejam realizado seguindo referências técnicas Colleter (2017).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J.H.G.M. 1996. Refração do espectro de ondas oceânicas em águas rasas:Aplicações à região costeira de São Francisco do Sul, SC. Dissertação de Mestrado, Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis. 89p.
- ANGULO, R. J. 1992. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (inéd.). 334p.
- ANGULO, R. J. 1996. Problemas na terminologia de ambientes e subambientes litorâneos clásticos dominados por ondas. Bol. Par. Geociências, Curitiba. 44:51-57.

- ANGULO R. J. & SOUZA M. C. 2003. Coastal erosion problems induced by dredging in the channel acces of Paranaguá and São Francisco harbor, southern Brazil. In. 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science Coastal Sediments Processes, St. Petersburg, Flórida, USA.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. Journal of coastal research, p. 688--703.
- BOWEN, A.J., INMAN, D.L. 1966. Budget of Littoral Sands in the Vicinity Point Arguello, California. U.S. Army Coastal Engineering Research Center Technical Memo No 19.
- BOSWOOD, P., VOISEY, C., VICTORY, S., ROBINSON, D., DYSON, A., LAWSON, S. (2005). Beach Response to Tweed River Entrance Sand Bypassing Operations.
- COASTAL PLANNING AND ENGINERRING - CPE do Brasil Ltda; ACQUAPLAN - Tecnologia e Consultoria Ambiental Ltda ACQUAPLAN, 2009. Análise Sobre a Mobilidade das Bobinas de Aço Depositadas no Leito Marinho após o Acidente de 30 de janeiro de 2008 com o Comboio Oceânico NORSUL Vitória/Norsul 12. Itajaí, SC. 45 p.
- CRUZ, C. R., 2010. Variação da linha de costa e do balanço sedimentar das praias do município de Itapoá, Santa Catarina, Brasil. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 160p.
- DEAN, R. G., 2003, Beach Nourishment Theory and Practice, chapter of Advanced Series on Ocean Engineering: Volume 18, p. 1-396.
- DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1997. Tábuas das marés, Porto de São Francisco do Sul para 1998. 35^o edição. Rio de Janeiro. Marinha do Brasil. p. 141-143.
- FOLK, R. L. WARD, W. C. 1957. Brazos River bar [Texas]. A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Research, v. 27, n. 1, p. 3-26.
- GARDEN ENGENHARIA. Plano Básico Ambiental-PBA das Obras de Alimentação da Praia Central. Balneário Camboriú, 2019. 338p.
- GOBBI, E.F. 1997. Gerenciamento costeiro: análise de casos do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. 277p.

- GUAZ, R., INMAN, D., 1975. Edge waves and beach cusps. Journal of Geophysical Research. 80p.
- IAT- Aquamodelo - Instituto Água e Terra, Aquamodelo. Projeto Executivo de Proteção da Orla de Matinhos, 2013, 36p.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 2022. Licença Prévia LP N° 667/2022 (12068734). Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 3p.
- IGBE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2022. Prévia da População dos Municípios com base nos dados do Censo Demográfico 2022 coletados até 25/12/2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados>>. Acessado em: 5 fev. 2023.
- INPH - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. 2015. Estudo de sedimentação no canal de acesso ao complexo portuário de São Francisco do Sul-- SC. São Francisco do Sul-SC, 92p.
- JACKSON, L & HILL, P. 2013. History of the Implementation and Evolution of Sand Nourishment Methods on the Gold Coast.
- KING, C. A. M. 1972. Beaches and coasts (sec.ed.). Edward Arnold, 570p.
- KOMAR, P.D., 1998. Beach Processes and Sedimentation. Second edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 544 p.
- LIGESKI, M. L. M. 2016. Quantificação da erosão costeira e balanço sedimentar das praias do município de Itapoá--SC. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, trabalho de conclusão de curso, 46 p.
- PREFEITURA DE ITAPOÁ, 2021. Aspectos Econômicos - Município de Itapoá. Disponível em: <<https://www.itapoa.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaltem/22510>>. Acessado em: 5 fev. 2023.
- SHORT, A.D, 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Wiley, New York, 379pp
- SILVA G.G. 2018. Análise da morfodinâmica costeira e do transporte sedimentar no município de Itapoá-SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 52 p

- SCHETTINI, C.A.F.; CARVALHO, J.L.B. & JABOUR, P. 1996. Comparative Hydrology and Suspended Matter Distribution of Four Estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil. In: Anais..., Workshop on comparative Studies of Temperate Coast Estuaries. Bahia Blanca, 29-32 p.
- SCHETTINI, C. A. & CARVALHO, J. 1999. Caracterização hidrodinâmica do estuário do rio Cubatão, Joinville. Notas Técnicas, FACIMAR, 3(1), p. 87-97.
- SIMÕES NETO, J.A. 2021. Aplicação e usos benéficos dos sedimentos de dragagem dos portos nas baías de Paranaguá-PR e Babitonga-SC. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. 97p.
- SOUZA, M.C. 1999. Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do Município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: subsídios à ocupação. Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, UFPR, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 196 p.
- SOUZA, M. C. de & ANGULO, R. J. 2003. Decadal and interannual variations of coastline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). Journal of Coastal Research, Florida, v.17.
- WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine Geology. 56:93-118.

7. APÊNDICE I: Figura de linha de costa

FIGURA DE VARIAÇÃO DE LINHA DE COSTA NO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ - SC

