



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

NARJARA MARIA ARAÚJO CARNEIRO

MORFODINÂMICA RECENTE DA PLANÍCIE DE MARÉ EXTERNA E LITORAL
ADJACENTE EM ICAPUÍ - CE

FORTALEZA

2024

NARJARA MARIA ARAÚJO CARNEIRO

MORFODINÂMICA RECENTE DA PLANÍCIE DE MARÉ EXTERNA E LITORAL
ADJACENTE EM ICAPUÍ – CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geologia. Linha de pesquisa: Geologia Sedimentar e Paleontologia. Area de concentração: Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Jr.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C289m Carneiro, Narjara Maria Araújo
 Morfodinâmica recente da planície de maré externa e litoral adjacente em Icapuí – CE / Narjara
 Carneiro. – 2024.
 94 f. : il. color.

 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-
 Graduação em Geologia, Fortaleza, 2024.
 Orientação: Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Júnior.

 1. Planície de maré. 2. Delta de maré vazante. 3. Vetores de transporte. 4. Granulometria. 5.
 Minerais pesados. I. Título.

CDD 551

NARJARA MARIA ARAÚJO CARNEIRO

MORFODINÂMICA RECENTE DA PLANÍCIE DE MARÉ EXTERNA E LITORAL
ADJACENTE EM ICAPUÍ – CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geologia. Linha de pesquisa: Geologia Sedimentar e Paleontologia. Area de concentração: Geologia.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Jr. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Narelle Maia de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de dissertação no curso de Mestrado em Geologia.

Em primeiro lugar, muito tenho a agradecer ao meu ilustríssimo orientador, Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Junior que me acompanha desde 2015 continuamente com uma orientação valiosa e paciência ao longo deste estudo. Sua expertise e seus conselhos foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Deus que me fez capaz de estar aqui e me deu saúde e discernimento.

Agradeço a Universidade Federal do Ceará (UFC) que me deu a oportunidade de cursar Geologia; ao Programa de Pós Graduação em Geologia desta mesma Universidade através de seu mestrado; à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo financiamento para a minha pesquisa e dissertação; em especial aos laboratórios de Geotécnica e de Geologia Marinha Aplicada da UFC que forneceu todo o apoio e assistência técnica para execução desde o meu trabalho de conclusão de curso durante minha graduação;

Aos professores participantes da banca examinadora Profa. Dra. Narelle Maia de Almeida e Prof. Dr. Antonio Rodrigues Ximenes Neto pelo tempo, valiosas colaborações e sugestões.

Ao caríssimo Cláudio Ângelo, que foi de suma importância nesse estudo, sempre atencioso, que me ajudou em campo e soube sanar várias dúvidas, com valiosas sugestões.

Ao digníssimo Prof. Dr. César Ulisses que sempre esteve muito solícito no apoio com o uso e manuseio dos equipamentos de laboratório.

Ao meu ilustríssimo amigo Isaac Gomes que também me ajudou muito desde o início, tirando dúvidas, me apoiando, aconselhando e sendo o grande amigo que sempre é.

Aos amigos Erick Márcio e Sara Karoline pelo apoio durante esse período.

Aos meus colegas e professores do programa de Geologia, agradeço por criarem um ambiente acolhedor, onde pude compartilhar conhecimentos e receber *feedbacks* importantes para o aprimoramento do meu trabalho.

Agradeço também à minha família e amigos pelo apoio e convivência, em especial meus pais e minhas irmãs por tudo que fizeram e fazem por mim.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Geologia da UFC.

RESUMO

No município de Icapuí, Estado do Ceará, chama a atenção a existência de uma intrigante planície de maré externa (PME), referida como delta de maré vazante na literatura. Trata-se também de parte de uma Área de Proteção Ambiental com um rico ecossistema para aves migratórias. Com cerca de 12 km², a PME de Icapuí é uma das mais extensas do estado, cerca de 60% maior que sua contraparte interna (laguna), e se anexa diretamente à praia em ambos os lados de sua desembocadura (*inlet*). Sua progradação, porém, não está associada a uma região embaiada, além de inexistir um curso fluvial expressivo, seja em sua desembocadura ou na planície de maré interna. A região também é marcada por uma corrente de deriva litorânea relativamente forte, de até 0,31 m/s, orientada SE-NW. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo principal estimar e calcular vetores de transporte sedimentar para compreensão da dinâmica da PME de Icapuí, repercutindo na interpretação de sua origem e classificação. Para tanto, foram coletadas e analisadas 188 amostras de sedimento da PME para cálculo de vetores de transporte baseados nas estatísticas dos três primeiros Momentos de Pearson da granulometria. Para a análise bidimensional, foram aceitos 26 vetores de tendência de transporte (14%) com rumo médio voltado para ESE (120° AZ, L95=0,91), através do teste de significância no programa GSTAST. Entretanto, todos os vetores com maior significância (n=9, L95= 1,19) apontam para NNE (28° AZ). No primeiro caso, interpreta-se o efeito geral da corrente de maré vazante sobre a PME em oposição à deriva litorânea esperada, e, no segundo, seu efeito mais específico através de canais de inframaré defronte à desembocadura principal. Isoladamente, a análise granulométrica unidimensional da praia, a partir de um índice de minerais pesados, favorece o transporte no sentido SE em ambos os lados da desembocadura, mas, especialmente no lado do mesmo quadrante que, por esse sentido, seria dominado pela maré vazante em oposição à deriva litorânea. Essa interpretação unidimensional para a praia encontra suporte no índice de minerais pesados para o transporte (sillimanita-granada, iSG), cujo valor é elevado (65% em média) e aumenta rumo SE (até >85%). Esse conjunto de características permite supor que o transporte local da PME de Icapuí seja dominado pela maré vazante, corroborando com a classificação de delta de maré vazante para a PME de Icapuí e, ao mesmo tempo, implicando em uma condição atípica para sua origem e manutenção ao longo do tempo.

Palavras-chave: planície de maré; delta de maré vazante; vetores de transporte; granulometria; minerais pesados.

ABSTRACT

In the Icapuí city, Ceará State (Brazil), the existence of an intriguing external tidal flat (ETF), referred as an ebb-tidal delta in the literature, captures the attention. It is also part of an Environmental Protection Area with a rich ecosystem for migratory birds. With approximately 12 km², the Icapuí ETF is one of the largest in the State, and it is about 60% larger than its internal counterpart (lagoon), being also directly attached to the beach on both sides of its inlet. Its progradation, however, is not associated with an embayed region, in addition to the absence of a significant river course, either at its inlet or on the internal tidal flat. The region is also marked by a relatively strong coastal drift current, up to 0.31 m/s, oriented SE-NW. In this context, the main objective of this study was to estimate and calculate sediment transport vectors to understand the dynamics of the Icapuí ETF, reverberating on the interpretation of its origin and classification. For this purpose, 188 sediment samples of the ETF were collected and analyzed to calculate transport vectors based on the statistics of the first three Pearson's moments of the grain size. Thus, for the two-dimensional analysis, 26 transport trend vectors (14%) were accepted with an average direction towards ESE (120° AZ, L95=0.91), by significance testing in the GSTAST program. However, all vectors with greater significance (n=9, L95=1.19) point towards NNE (28° AZ). In the first case, it is interpreted the general effect of the ebb tide current over the ETF oppositely to the expected longshore drift, and in the second, its more specific effect through subtidal channels in front of the inlet. In isolation, the one-dimensional granulometric analysis of the beach, from a heavy mineral index, favors transport in the SE direction on both sides of the inlet, but especially on the side of the same quadrant that, in such direction, would be dominated by the ebb tide as opposed to longshore drift. This one-dimensional interpretation for the beach is supported by the heavy mineral index for transport (sillimanite-garnet, SGi), whose value is high (65% on average) and increases towards SE (up to >85%). This set of characteristics allows assuming that the local transport of the Icapuí PME is dominated by the ebb tide, corroborating the classification of ebb-tidal delta for the Icapuí ETF and, at the same time, implying an atypical condition for its origin and maintenance over time.

Keywords: tidal flat; ebb-tidal delta; transport vectors; grain size analysis; heavy minerals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa com uma visão geral da planície costeira de Icapuí em 2024	10
Figura 2 - Contorno das planícies de maré interna (azul) e externa	11
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo no município de Icapuí	13
Figura 4 - Canais e microcanais de inframarés (<i>subtidal</i>)	14
Figura 5 - Consequências dos processos erosivos na linha de costa	15
Figura 6 - Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar	16
Figura 7 - Mapa geológico/geomorfológico do município de Icapuí	17
Figura 8 - Média de amplitudes mínimas e máximas	19
Figura 9 - Intensidade média da corrente de superfície	21
Figura 10 - Intensidade média da corrente de superfície	21
Figura 11 - Intervalos estratigráficos atribuídos a estuários	26
Figura 12 - Exemplos de estuários na literatura geocientífica	28
Figura 13 - Tipos de desembocadura de maré (<i>tidal inlet</i>)	30
Figura 14 - Modelo de canal de maré lateralmente migrante	31
Figura 15 - Padrões de transporte em um delta de maré vazante	32
Figura 16 - Escala de Udden-Wentworth mostrando a classificação	33
Figura 17 - Diagrama esquemático dos fatores controladores	35
Figura 18 - Exemplo das amostras ensacadas pós coleta	37
Figura 19 - Separação dos minerais pesados em funis com válvulas	38
Figura 20 - Exemplo da quantidade de minerais pesados	39
Figura 21 - Preparo de lâmina utilizando o bálsamo de Canadá	40
Figura 22 - Lâminas prontas para contagem no microscópio	41
Figura 23 - Amostras postas para secagem na estufa em A	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definições de estuário encontradas na literatura científica	23
Tabela 2 - Classificações de estuário encontradas na literatura científica	24
Tabela 3 - Definições e classificações de baías encontradas na literatura	24
Tabela 4 - Definições e classificações de lagunas encontradas na literatura	25
Tabela 5 - Esquema de classificação de estuários, traduzido de Reinson	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
2.1	Localização	13
2.2	Geologia Regional	16
2.3	Fisiografia	18
2.3.1	<i>Clima</i>	18
2.3.2	<i>Regime de ventos em Icapuí</i>	19
2.3.3	<i>Regime de ondas e marés</i>	19
2.3.4	<i>Correntes</i>	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1	Planícies de maré: definições e classificações	22
3.1.1	<i>Definições</i>	22
3.1.2	<i>Classificações</i>	24
3.1.3	<i>Planícies de maré: considerações finais</i>	25
3.2	Desembocaduras de maré (<i>tidal inlets</i>)	28
3.3	Granulometria	32
3.4	Minerais pesados	34
4	OBJETIVOS	36
4.1	Geral	36
4.2	Específicos	36
5	MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1	Análise de imagens de satélite	36
5.2	Atividade de campo	37
5.3	Separação de minerais pesados	37
5.4	Contagem e obtenção de índices	40
5.5	Granulometria da fração arenosa	41
5.6	Integração e análise	42
5.7	Tratamento estatístico da granulometria: distribuição dos três primeiros momentos de Pearson	42
5.8	Tratamento estatístico da granulometria: obtenção de vetores de transporte	43

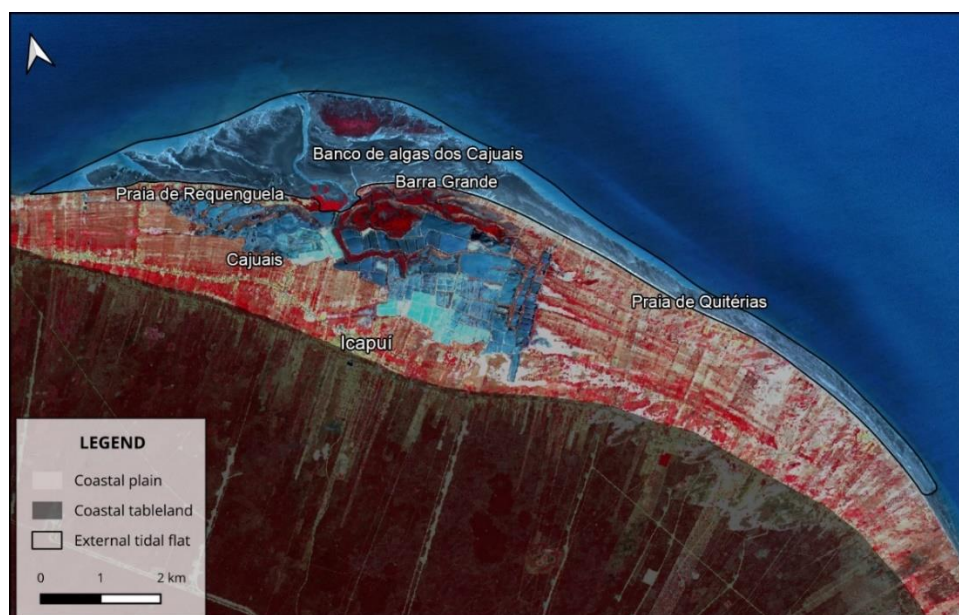
6	RESULTADOS	45
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A - CONTAGEM BRUTA DOS MINERAIS PESADOS	
	NAS AMOSTRAS ANALISADAS	82
	APÊNDICE B - PERCENTUAL DOS MINERAIS PESADOS COM	
	BASE NA CONTAGEM BRUTA	83
	APÊNDICE C – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA	
	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (PHI) DAS	
	AMOSTRAS DA FACE PRAIAL E PLANÍCIE DE	
	MARÉ	84
	APÊNDICE D - DADOS DE ENTRADA APLICADOS NO	
	SOFTWARE GSTAST	89
	APÊNDICE E - DADOS DE SAÍDA RESULTANTES DO	
	SOFTWARE GSTAST	94

1 INTRODUÇÃO

Os deltas de maré vazante são feições proeminentes situadas mar adentro em diferentes tipos de planícies de maré, como lagunas, estuários e baías (READING, 1978). Eles se desenvolvem onde a descarga sedimentar que atravessa uma barreira por meio de um canal é suficiente para se acumular e, pelo menos, se preservar parcialmente da dispersão por ondas e outros processos marinhos (HUBBARD, 1975; OERTEL, 1975). Em comparação com sua contraparte -os deltas de maré enchente-, os deltas de maré vazante geralmente são menores, irregulares e frequentemente submersos (SUGUIO, 1992). Junto com seus canais de inframarés submersos, essas estruturas só emergem durante os níveis mais baixos das marés de sizígia, sendo o principal elemento das planícies de maré externas (marinhas) (READING, 1978; REINSON, 1992; DALRYMPLE, 1992; BOYD et al., 2006).

Esse, aparentemente, é o caso da planície de maré externa de Icapuí, localizado no extremo leste do litoral cearense. A feição em forma de leque triangular (Figura 1), referida em sua totalidade como delta de maré vazante (MEIRELES, 1991; MEIRELES et al., 2006), é uma das mais largas e extensas do Ceará, com 12 km². De acordo com Meireles (1991), ainda representaria um dos melhores conjuntos morfológicos que evidenciariam flutuações relativas do nível do mar desde o Pleistoceno.

Figura 1 - Mapa com uma visão geral da planície costeira de Icapuí em 2024. Imagem do satélite CBERS-4A, com composição que destaca os manguezais em tons vibrantes de vermelho e o banco de algas na planície de maré externa.

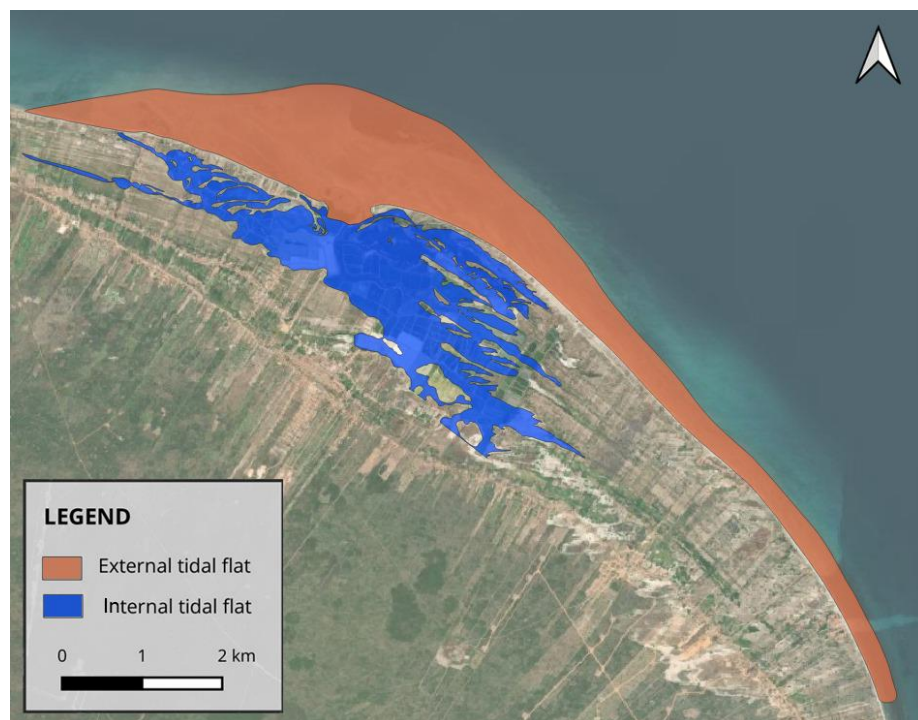


Fonte: Elaborado pelo autor.

A mesma planície de maré externa, no entanto, é marcada por uma situação incomum, pois ocupa uma área maior que seu próprio sistema de alimentação interno, uma laguna de apenas 10 km² (Laguna dos Cajuais ou Carapicu: MEIRELES; SANTOS, 2012; Figura 1). Por sua vez, a laguna praticamente não possui um delta de maré enchente, com a maior parte de sua extensão ocupada por fazendas de camarão e salinas. Em alguns trabalhos, a laguna é às vezes referida como “estuário” ou “sistema estuarino-lagunar” (Estuário da Barra Grande; MEIRELES, 1991; MEIRELES; SANTOS, 2012), apesar de não possuir um sistema fluvial associado.

Dessa forma, mesmo considerando sua extensão natural anterior, como mostra a delimitação da figura 2, baseada em fotos aéreas dos anos 1950, a área da laguna já era menor. Além disso, a laguna não possui drenagens significativas de água doce, como pode ser visto nos mapas (Figuras 1, 2 e 3), sendo o lençol freático a principal fonte de água, especialmente durante a estação seca. Como consequência, a vazão hídrica e a carga suspensa de sedimentos despejados pela desembocadura de maré principal (*inlet*), denominada Barra Grande (Meireles e Santos, 2012), são muito baixas (MAIA; SOUZA, 2018), tornando difícil explicar a formação e manutenção de um grande delta de maré vazante em frente a ela.

Figura 2 - Contorno das planícies de maré interna (azul) e externa (laranja) de Icapuí. O contorno natural de parte da planície interna foi verificado em fotografias aéreas da década de 1950.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As linhas de costa adjacentes às desembocaduras fluviais tendem a apresentar grandes variações, principalmente se estiveram sob influência de maré vazante, sendo estas acumulações de areia defronte às desembocaduras fluviais formadas pela interação de correntes geradas por ondas e marés. Sua morfologia é fortemente influenciada pelos padrões de erosão e deposição dessas linhas de costa, tornando-as altamente instáveis (FITZGERALD, 1984). Estas feições constituem uma importante reserva de sedimentos para as linhas de costa adjacentes às desembocaduras (ELIAS, 2001).

Tanto a descarga hídrica como sedimento acumulado em frente às desembocaduras dos canais de maré podem influenciar fortemente na dinâmica costeira local, às vezes favorecendo o transporte na direção oposta às correntes de onda e à deriva litorânea. Nesse contexto, Aubrey e Speer (1984) destacam a importância de três mecanismos responsáveis pela migração de um canal de maré para barlamar: (1) o estabelecimento de um delta de maré vazante; (2) rompimento de barreiras induzido por tempestades; e (3) descarga de maré vazante ao redor de um canal, criando um padrão de fluxo tridimensional que erode o banco externo do canal e acresce o seu banco interno. O primeiro aspecto é notável na região de Icapuí, embora seus canais de maré e bancos de areia não se assemelhem a um delta de vazante típico devido ao tamanho e geometria, mas sim a uma planície de maré externa que se expandiu em direção ao mar. Por fim, o terceiro mecanismo proposto também parece atuar em conjunto com a corrente de deriva litorânea, influenciando diretamente a rotação anti-horária dos canais de maré, conforme primeiramente sugerido no trabalho de Silva Neto (2019).

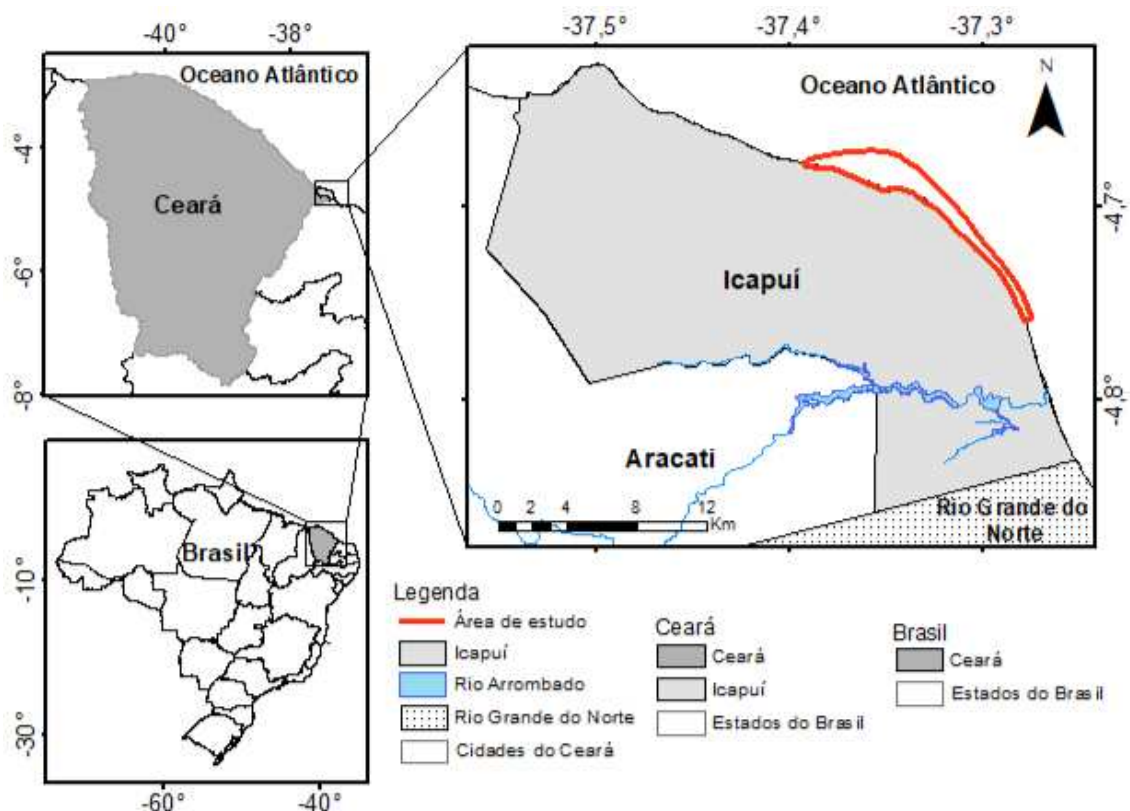
Outros fatores que destacam a natureza incomum de haver um delta de maré vazante em Icapuí são: sua costa proeminente (convexa), e não embaiada (côncava), o que é desfavorável para a captura de sedimentos marinhos; e uma deriva litorânea regional E-W relativamente forte (MAIA, 1998), que prevaleceria sobre os efeitos das correntes de maré vazante. Como já se sabe, existe uma variedade de estudos realizados no âmbito de avaliação da dinâmica costeira recente de Icapuí (BARROS, 2018; SILVA NETO, 2019; SILVEIRA, 2022; e SOUZA, 2016). Porém, não conduzem diretamente a essa problemática, a qual se baseia na efetividade do transporte sedimentar para investigar essa peculiaridade, e ainda carece de estudos mais aprofundados. Portanto, dada a ausência de hipóteses que explorem a situação peculiar do litoral de Icapuí, o presente trabalho visa identificar como se dá a morfodinâmica do delta de maré vazante de Icapuí e sua costa adjacente. Essa abordagem visa repercutir não apenas em como o delta se formou, mas como tem sido mantido e, ainda de forma mais básica, se sua classificação como tal faz sentido para o contexto em que se insere.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

O município de Icapuí está situado no extremo leste do estado do Ceará (Figura 3), distribuindo-se ao longo da planície costeira inserida na microrregião do baixo Jaguaribe, cujo é constituída por um complexo conjunto de unidades morfológicas decorrentes das mudanças do nível relativo do mar e flutuações climáticas durante o Quaternário. Seu território também engloba uma área cujos uso e ocupação do solo aumentaram significativamente nas últimas décadas, influenciados pelo aumento da população local, instalação de indústrias (petrolífera, salineira, carcinicultura e eólica) e empreendimentos turísticos.

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo no município de Icapuí (CE) e seus principais sistemas de drenagem.

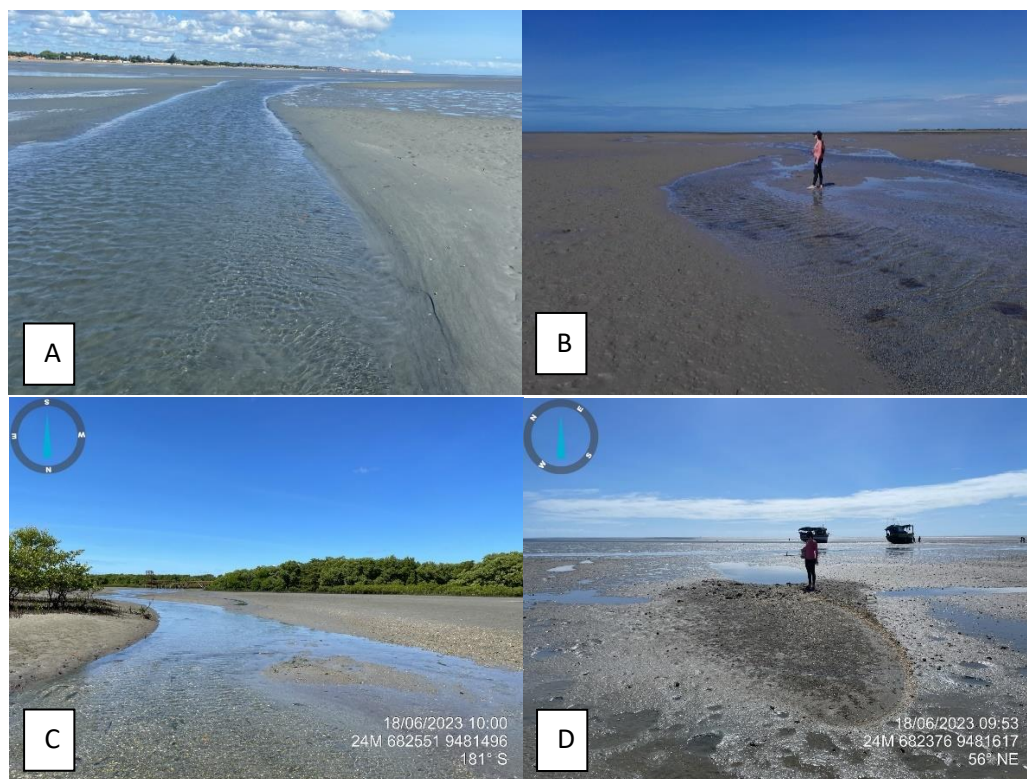


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, a Laguna da Barra Grande ainda apresenta características naturais, como planícies lamacentas a arenosas (supramareais a intermareais, parcialmente cobertas por

vegetação de manguezal) e canais de maré secundários (*tidal creeks*) (Figura 4), especialmente nas proximidades da desembocadura.

Figura 4 - Canais e microcanais de inframarés (*subtidal*) vistos dentro da planície de maré externa de Icapuí em A e B, a NW do *inlet*, emersos apenas durante a maré baixa de sizígia. Em C, vista para sul da desembocadura do canal de maré principal (*inlet*) durante a maré baixa de sizígia, próximo ao manguezal. Em D, bancos de areias lamacentas com cascalho bioclástico (principalmente rodolitos) isolados, acumulados na planície de maré externa, próximo ao *inlet*.



Fonte: Autor.

Além disso, trabalhos recentes efetuados na área de estudo (MUEHE, 2006; XIMENES, 2013; FERNANDES et al., 2015; SOUZA, 2016; e BARROS, 2018) indicam que o município de Icapuí passa por fortes modificações da linha de costa em curtos intervalos de tempos, promovidos por uma série de variáveis naturais e antrópicas.

Dessa forma, a erosão costeira tem afetado de forma devastadora as comunidades que ficam situadas próximas à linha de costa do município, especialmente na Praia de Requenguela, a NW da desembocadura de maré. Consequentemente, várias famílias tiveram suas casas

destruídas, principalmente as moradias de pescadores, ou seja, a camada social mais afetada com o problema (BARROS, 2018), como pode ser observado na Figura 5.

Assim, instabilidades da linha de costa ocorrem principalmente em função da suscetibilidade a elevada dinâmica de transporte associada a agentes erosivos e deposicionais, os quais contribuem para as constantes mudanças de sua posição ao longo do tempo (WRIGHT, 1977; COOPER, 2002; ESTEVES, 2003). No caso específico de Icapuí, Souza (2016) sugere que a presença do delta de maré vazante pode contribuir para o balanço sedimentar negativo das praias a sotamar, retendo sedimentos à deriva provenientes da planície de maré. Suas relações de causa e efeito têm sido detalhadas para as praias a NW da Barra Grande (além de Requenguela, as praias de Barreiras de Cima e Barrinha) por Silva Neto (2019) e Silva Neto et al. (2020) que reconheceram os efeitos da dinâmica de canais de inframarés e formas de leito associados ao lado NW da Barra Grande, na planície de maré externa.

Figura 5 - Consequências dos processos erosivos na linha de costa defronte à planície de maré externa em seu lado NW (Praia de Requenguela).



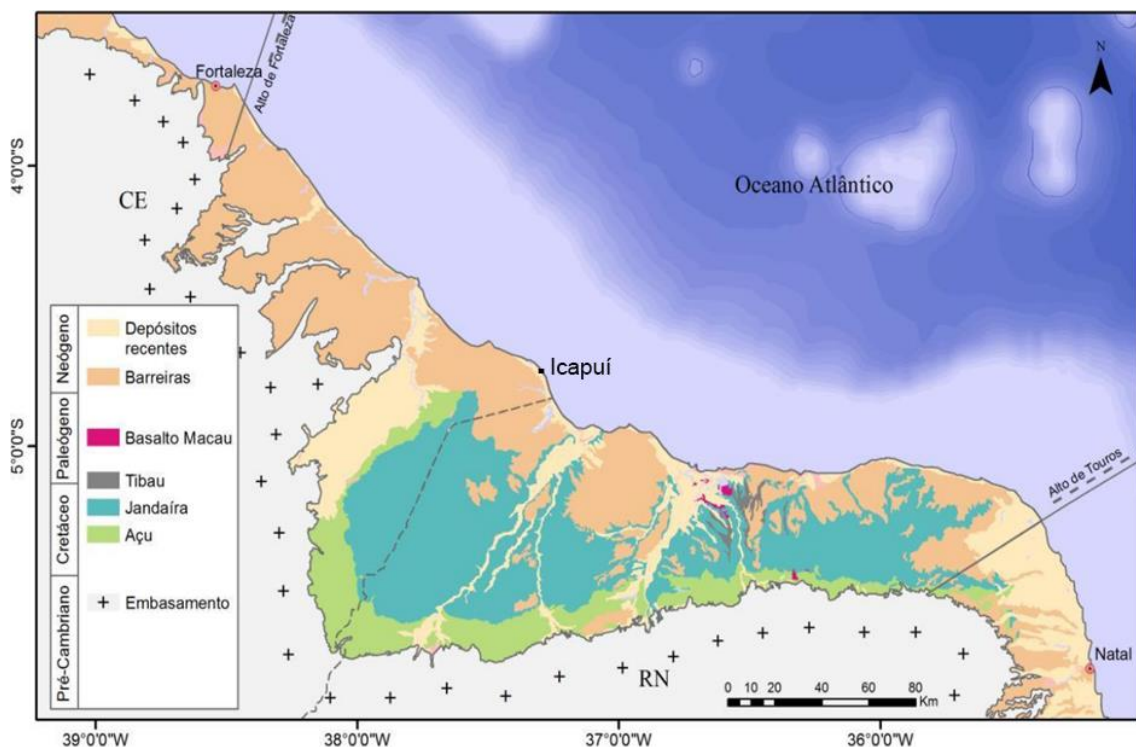
Fonte: Autor.

2.2 Geologia Regional

No âmbito regional, o litoral de Icapuí está inserido no contexto tectonoestratigráfico da Bacia Potiguar, cuja evolução tectônica foi iniciada por esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior, gerando rifteamento que ocasionou a separação das placas sul-americana e africana. Com isso, diferentes tipos de rochas sedimentares vêm sendo modeladas e retrabalhadas pelo mar, especialmente nas falésias ativas (MEIRELES, 1991).

A litologia aflorante é composta pelos seguintes conjuntos, representados na Figura 6: (i) unidade de rochas carbonáticas, correlacionada à Formação Jandaíra, que ocorre de forma restrita na base das falésias; (ii) unidades de rochas siliciclásticas, correlacionadas às formações Barreiras e Tibau, que predominam lateral e verticalmente ao longo das falésias; (iii) rochas da Formação Potengi, no topo das falésias; (iv) dunas (móveis e fixas), cordões de praia litorâneos, planícies de maré e praias atuais (SOUSA et al., 2008).

Figura 6 - Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar.



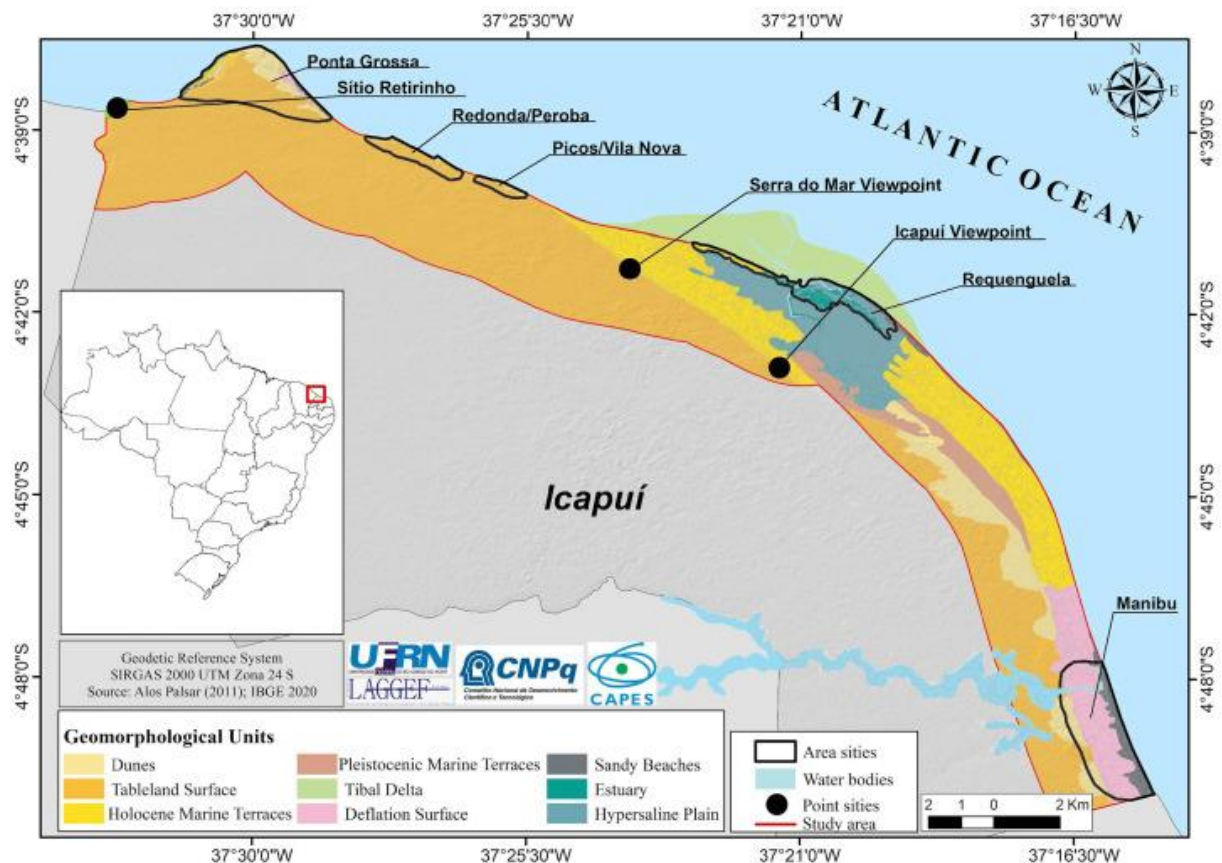
Fonte: adaptado de Mohriak (2003) e Angelim et al. (2006).

As falésias na região da Praia de Ponta Grossa, a NW de Icapuí, pertencem a um complexo conjunto de unidades morfológicas atribuídas a mudanças climáticas e variações do nível relativo do mar durante o Quaternário. Esse conjunto é formado por falésias ativas e

inativas, terraços marinhos, dunas móveis e fixas, lagos costeiros, lagoas, delta de maré, e uma extensa faixa de praias rochosas e arenosas, além de planícies de marés associadas a canais, manguezais e salinas (MEIRELES et al. 2005; MEIRELES; SANTOS, 2012).

Segundo Meireles et al. (2005) e Meireles; Santos (2012), a planície costeira de Icapuí revela um dos melhores conjuntos morfológicos que registram as flutuações relativas do nível do mar desde o Pleistoceno até os dias atuais. Como evidência morfológica restariam antigos níveis de praia dispostos em terraços nas proximidades de uma paleofalésia (falésia inativa). Segundo Meireles (1991), um terraço marinho pleistocênico estaria disposto na área central e mais interna da planície, com uma altitude de até 8 m acima do nível atual do mar e associado aos setores onde predomina vegetação de carnaubais, solo arenoso e um “excelente” aquífero usado para a construção de viveiros de camarão e ampliação de salinas. Também, um terraço marinho holocênico apresentaria uma altitude média de 4 m acima do nível atual do mar e ocuparia grande parte da planície costeira recente (Figura 7). Nas praias relacionadas ao terraço holocênico seriam destaques camadas de areia de granulação fina a muito fina contendo conchas de bivalves e seixos de concreções carbonáticas.

Figura 7 - Mapa geológico/geomorfológico da costa de Icapuí - CE.



Fonte: Diniz et al, 2022

Meireles, Raventos e Thiers (2006) indicam a existência de um delta de maré vazante defronte a desembocadura do estuário Barra Grande, no setor central do litoral de Icapuí. Este sistema constitui uma extensa planície de até dois quilômetros de distância da linha de costa, expondo bancos de areia e canais de maré durante a baixa-mar que apresentam direção de escoamento convergente ao canal estuarino, evidenciando suave mergulho dos terraços holocênicos para o setor central da planície. Segundo Souza (2016), este delta de maré vazante influi fortemente na dinâmica das ondas locais e no balanço de sedimentos entre a planície de maré, faixa de praia e plataforma continental, sendo um possível contribuinte para o balanço sedimentar negativo de praias a sotamar (NW). O delta de maré ainda favoreceria a manutenção dos manguezais pela produção e dispersão de nutrientes através de seus canais de maré, contribuindo para a biodiversidade local.

Os sistemas morfológicos de delta de maré, dunas, estuários e lagunas desenvolveram-se associados aos terraços holocênicos e durante o evento regressivo do mar (progradação da linha de costa). Suas características morfológicas e sedimentares respondem pela diversidade de paisagens da planície costeira de Icapuí associada a um contexto regional modelado ao longo dos últimos 125 mil anos (SILVA, 2012).

2.3 Fisiografia

2.3.1 *Clima*

Sendo uma região litorânea, os períodos mais secos são frequentemente moderados por temperaturas amenas. Consequentemente, as mudanças sazonais na precipitação, juntamente com variações na velocidade dos ventos e nos padrões das ondas, contribuem para o movimento de sedimentos e outros materiais em ambientes continentais e de plataforma rasa (BARROS, 2014).

O clima da região é classificado como Tropical Semiárido Quente e Brando, com temperaturas médias variando entre 26 e 28°C, e o índice de aridez calculado para essa região classifica Icapuí como sub-úmido seco (IPECE, 2016). A precipitação anual total média é de 914,62 mm, ocorrendo principalmente de janeiro a maio, com intensidade máxima em março e abril, correspondendo a 93% da precipitação média anual, segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME, 2017). Essas chuvas são influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formada principalmente pela convergência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul.

2.3.2 Regime de ventos em Icapuí

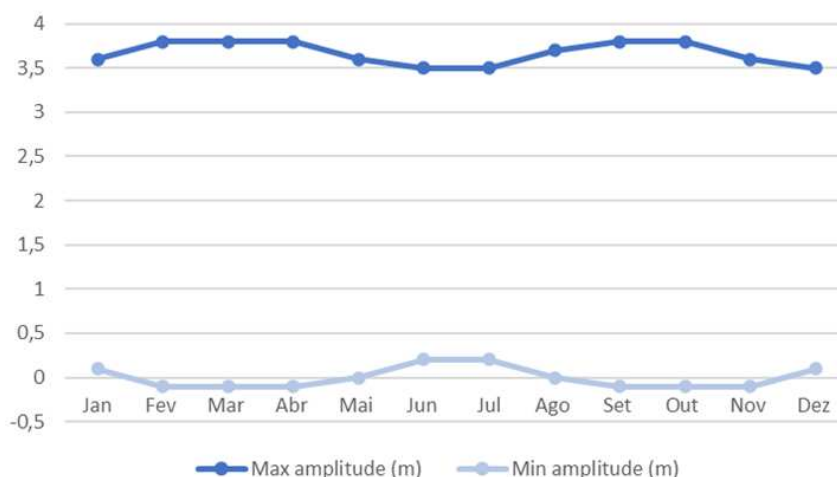
O vento é um agente fundamental para influenciar o regime de chuvas, que são afetadas pelas variações da ZCIT sobre a região Nordeste, além de impactar a direção das ondas e das correntes.

Segundo Meireles; Santos (2012), a costa do Ceará é predominantemente influenciada por ventos SE, ESE, E e NE, com velocidades médias de até 4,5 m/s, atingindo frequentemente picos de 11 m/s nos meses secos de agosto a novembro. Meireles também destaca que, devido à influência da ZCIT na primeira metade do ano, os ventos predominantes mudam para NE, enquanto na segunda metade do ano, mudam para SE.

2.3.3 Regime de ondas e marés

No Ceará, as marés são semi-diurnas, típicas de ambientes de mesomaré, com amplitude média de aproximadamente 3,2 m (MORAIS, 1981; MAIA, 1998; PINHEIRO et al., 2016). Em Icapuí, as marés podem chegar a 4 m durante as marés de sizígia, e as amplitudes foram analisadas ao longo de 2024 pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os níveis máximos atingiram cerca de 3,8 m e 3,7 m, enquanto os mínimos anuais caíram para -0,1 m. Observa-se um padrão quase espelhado desses valores, mostrando uma oscilação consistente (Figura 8).

Figura 8 - Média de amplitudes mínimas e máximas das marés de sizígia (metros) durante o ano de 2024, registradas pelo Porto de Areia Branca/RN.



Fonte: DHN (2024)

A hidrodinâmica ao longo da praia, tanto na parte emersa quanto submersa, resulta da interação entre as ondas incidentes, constantes e irregulares, e dos fluxos gerados por ondas e marés. Esse deslocamento exerce atrito sobre os sedimentos, que passam a ser transportados em suspensão, criando gradientes espaciais e temporais em seu percurso. Assim, à medida que esse processo molda determinadas morfologias, fica claro que a morfologia e a hidrodinâmica evoluem de forma interligada. Além disso, a frequência de tempestades, bem como a energia e intensidade dessas ondas, também afetam o acúmulo de sedimentos ao longo da linha de costa (WRIGHT; SHORT, 1984; MUEHE, 1998; MUEHE, 2014).

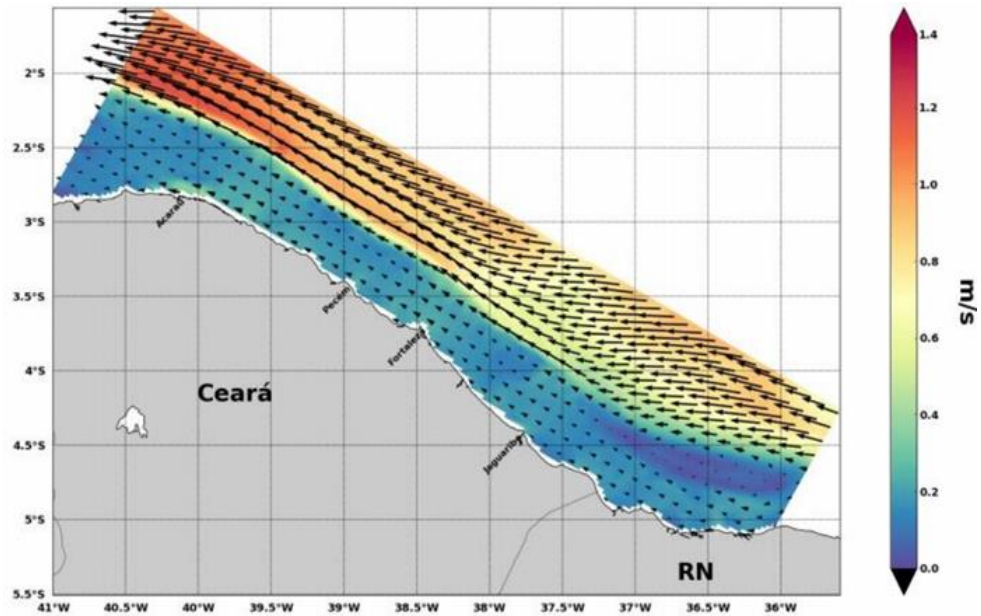
Monteiro Neto (2003) afirma que a costa cearense apresenta um perfil bastante retilíneo, tal formação favorece a ocorrência de ondas em praticamente todo o litoral, sendo o regime destas caracterizado por ondas do tipo “swell” com variação média de 1,80 a 3,60 m, com predominância de SE (45%), e ondas do tipo “sea” com amplitude média de 0,90 a 2,40 m, também predominantes de SE (54%). Dessa forma, o componente principal do arrasto se faz no sentido Leste-Oeste. Ondas mais raras, porém mais fortes, vêm do setor NE, ocorrendo geralmente entre fevereiro e abril (MORAIS, 1981).

2.3.4 Correntes

De acordo com Bub; Brown (1996), a zona costeira de Icapuí é influenciada pela Corrente Equatorial do Atlântico, especificamente pela Corrente Norte do Brasil (CNB). Esta é uma corrente de limite oeste no Oceano Atlântico, onde a sazonalidade de seu transporte é evidente, com um máximo entre julho e agosto, diminuindo ao longo do ano até atingir o mínimo entre abril e maio (JOHNS; LEE, 1998), como pode ser visto nos Figuras 9 e 10.

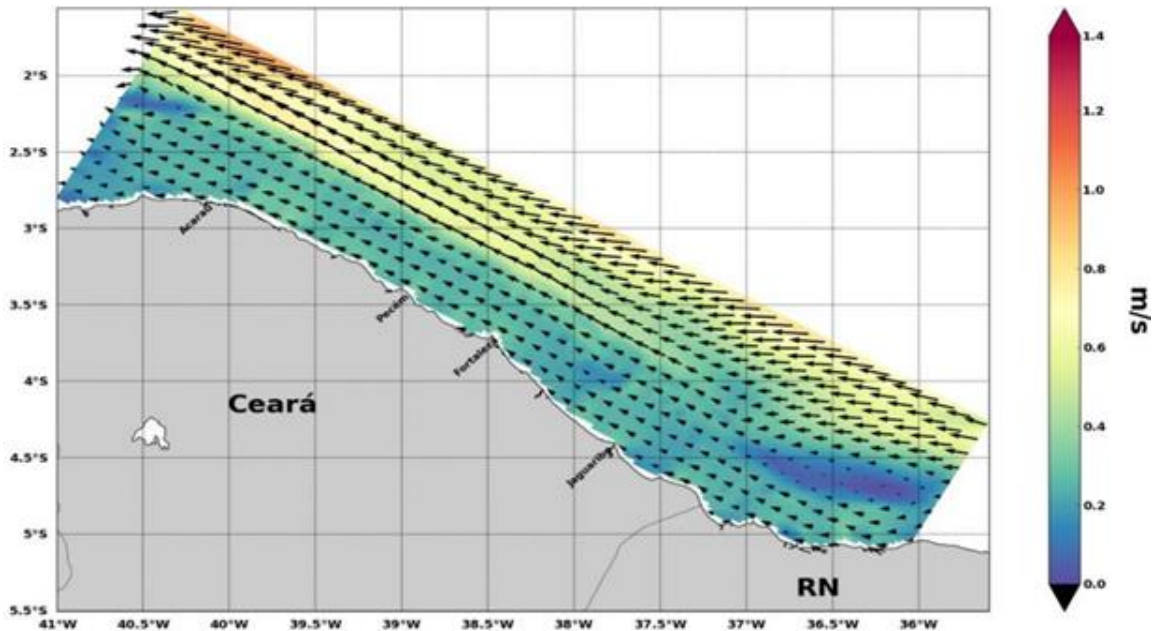
Sendo uma corrente que contorna o Oceano Atlântico a oeste e flui para noroeste pela costa brasileira, a CNB possui suma importância no transporte de água e calor através do Equador para o hemisfério norte (JOHNS; LEE, 1998).

Figura 9 - Intensidade média da corrente de superfície ao longo de 8 anos de simulação utilizando o modelo de Plataforma Continental do Ceará - 1º semestre.



Fonte: De Freitas (2015).

Figura 10 - Intensidade média da corrente de superfície ao longo de 8 anos de simulação usando o modelo de Plataforma Continental do Ceará – 2º semestre.



Fonte: De Freitas (2015).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Planícies de maré: definições e classificações

3.1.1 Definições

Planícies de maré, em sentido amplo, abrangem sistemas deposicionais em que o fluxo das marés seja dominante sobre outros processos de transporte. No entanto, há certa confusão na literatura científica principalmente ao se enfatizar definições e classificações com base principalmente na geomorfologia de planícies de maré, a exemplo de estuários, baías e lagunas, incluindo o fato de que estas três feições guardam em comum a característica de serem corpos de água costeiros semi-confinados (NASCIMENTO, 2011). Neste âmbito, Nascimento (2011) menciona três tipos de problemas principais na definição de planícies de maré: 1. Problemas de definição da área de conhecimento; 2. Problemas de definição por simplificação exagerada; 3. Problemas de definição por hierarquia.

O primeiro tipo de problema de definição decorre do fato natural de que autores de diferentes áreas do conhecimento elaboram definições que atendam a seus interesses particulares. No entanto, definições criadas para determinada área são às vezes indiscriminadamente usadas por outra, fato que, ao gerar inadequação e, portanto, imprecisão, leva a novas tentativas de adaptação de definições e modelos aos problemas particulares de cada autor, e às vezes contribui para aumentar ainda mais a confusão terminológica (NASCIMENTO, 2011). A exemplo disso, a definição original de estuário de Pritchard (1967), criada com enfoque principal em oceanografia física (grau de mistura salina), foi e é às vezes usada em estudos geológicos (i.e. BIGGS, 1978). Os estudos geológicos, porém, demandam abordagens atualísticas, que possam valer tanto para o presente como para o passado, especialmente aquelas que enfatizam processos físicos e seu registro, como no caso da análise de fácies (POSAMENTIER; WALKER, 2006). Detalhes oceanográficos, como no exemplo da salinidade, são muitas vezes irrelevantes e/ou difíceis de se aplicar em estudos de depósitos antigos (Tabela 1).

Tabela 1 - Definições de estuário encontradas na literatura científica internacional.

AUTOR (S)	DEFINIÇÃO DE ESTUÁRIO
Pritchard (1967)	“Corpo de água costeiro semi-fechado que possui conexão livre com o mar aberto e dentro do qual a água do mar é diluída com água doce derivada de drenagem terrestre”.
Davis (1983)	“Uma baía costeira que é sujeita a aporte de água doce corrente superficial (<i>runoff</i>) e experimenta influência regular de marés astronômicas”.
Yáñez-Arancibia (1986)	“Desembocadura de um rio no mar sem a presença de barreiras que a limitem”.
Dalrymple <i>et al.</i> (1992)	“Porção marinha de um sistema de vale afogado que recebe sedimento de fontes tanto fluvial como marinha e que contém fácies influenciadas por marés, ondas e processos fluviais. O estuário estende-se do limite continental de fácies de maré (cabeceira) até seu limite marinho de fácies costeiras (desembocadura).”
Reinson (1992)	“Vales de rios afogados em ‘forma de funil’ (<i>funnel-shaped</i>) com poucas ou nenhuma barreira em sua desembocadura.”
Wright <i>et al.</i> (1999)	“Regiões onde um rio ou sistema de canais de rios se comunicam com o mar por <i>inlets</i> , mas mantêm características fluviais como o de trechos meandantes. Seu limite superior é geralmente considerado como sendo grosso modo o ponto rumo ao continente onde os efeitos de subida e descida da maré ainda agem.”

Fonte: compilado por Nascimento (2011).

O segundo tipo de problema ressaltado por Nascimento (2011) é o de simplificações exageradas, onde características específicas em termos de forma e processos/produtos de sedimentação não são possíveis (i.e. DAVIS, 1983; WRIGHT *et al.*, 1999). Simplificações desse tipo chegam ao extremo de agrupar estuários, baías e lagunas numa única entidade (i.e. YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1986) (Tabela 1).

O terceiro tipo de problema de definição ressalta a hierarquia e seus elementos constituintes (NASCIMENTO, 2011). Neste aspecto, autores como Roy *et al.* (1980), Frey; Howard (1986), Allen (1991) e Dalrymple *et al.* (1992), por exemplo, consideram que sistemas estuarinos podem englobar vários elementos constituintes como lagunas, barreiras, planícies costeiras, canais fluviais e outras feições associadas (i.e. deltas de maré enchente, leques de sobrelavagem, desembocaduras de maré, “bancos de areia” [*shoals*], praias retrobarreira, esporões [*spits*], “barras de lavagem” [*swash bars*], barras em pontal, planícies de maré, pântanos, “bancos de canais fluviais” [*stream banks*] etc.). Embora esse uso amplo seja permitido pela análise sistêmica do meio natural, isso agruparia fácies morfológicas geradas por processos muito diversos de transporte e sedimentação em torno da zona costeira, tipo de abordagem que se torna inapropriada por simplificar em demasia a dinâmica do sistema.

3.1.2 Classificações

De acordo com Nascimento (2011), os problemas de classificação de planícies de maré acompanham, em geral, os de definição. Destacam-se aqueles surgidos para satisfazer certas áreas do conhecimento, como oceanografia, mas usados em outras áreas. Exemplos são as classificações de estuários de Pritchard (1967) e Biggs (1978) (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificações de estuário encontradas na literatura científica internacional.

AUTOR(ES)	NATUREZA OU CRITÉRIO DA CLASSIFICAÇÃO	TIPOS
Pritchard (1967), Biggs (1978)*	Oceanografia física – grau de mistura salina	1. Mistura parcial (tipo B). 2. Verticalmente homogêneo (tipo C).
	Origem geológica	1. Vale fluvial afogado. 2. Fiorde. 3. Construído por barreira. 4. Tectônico.
Biggs (1978), Boothroyd (1978) e Chappel & Woodroffe (1997)	Amplitude de marés	1. Micromaré. 2. Mesomaré. 3. Macromaré.
Hayes (1979), Davis & Hayes (1984) e Dalrymple <i>et al.</i> (1992)	Influência relativa dos agentes de transporte	1. Dominado por marés. 2. Dominado por ondas.
Reinson (1992)**	Morfologia	1. Lagunar. 2. Parcialmente fechado. 3. Aberto. 4. De maré.

* Este autor considera lagunas como um tipo de estuário.

** Classificação equivalente à de lagunas de Nichols & Allen (1981) (Quadro 2.4).

Fonte: compilado por Nascimento (2011).

Outro problema comum vem de classificações focadas na forma do sistema natural, em que cada categoria pode representar apenas etapas evolutivas diferentes do próprio sistema. Como exemplo disso, Reinson (1992) classifica estuários em quatro categorias que, a rigor, denotam principalmente seu grau de conexão com o mar aberto (Tabela 2). Destaca-se que, nesta classificação, o “tipo” de estuário mais fechado em sua conexão com o mar é denominado “lagunar”. Ademais, problemas resultantes do foco na morfologia atual do sistema também são comuns em definições e classificações de baías e lagunas (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Definições e classificações de baías encontradas na literatura científica internacional.

AUTOR	DEFINIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Biggs (1978)	Sinônimo de estuário <i>sensu</i> Pritchard (1967) (Tabela 1).	Classificação de estuários de Pritchard (1967).
Davis (1983)	“Corpos de água relativamente pequenos e semi-encerrados na zona costeira. Este termo (baías costeiras) é usado com amplo sentido, incluindo origem, hidrodinâmica, salinidade e/ou estilo de sedimentação”.	Estuário (cf. Pritchard 1967) ou “laguna” (<i>sabkha</i>).

Fonte: compilado por Nascimento (2011).

Tabela 4 - Definições e classificações de lagunas encontradas na literatura científica internacional.

AUTOR	DEFINIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Biggs (1978)	“Tipo de estuário de áreas costeiras inundadas e encerradas por praias de barreira”.	-
Nichols & Allen (1981)*	-	1. Fechada. 2. Parcialmente fechada. 3. Aberta. 4. Estuarina.
Davis (1983)	“Baía costeira, geralmente alongada paralelamente à linha de costa, que não recebe aporte significativo de água doce corrente superficial e é restrita em sua circulação com o mar aberto por uma barreira ou recife de coral. São geralmente feições de baixa a média latitude associadas com condições semi-áridas ou áridas”.	-
Yáñez-Arancibia (1986)	“Embaçamento separado do mar por ilhas-barreiras”.	-
Carter (1988)	-	1. Evaporação > aporte de água doce (<i>sabkha</i>). 2. Aporte de água doce > evaporação. 3. Equilíbrio entre evaporação e aporte de água doce.
Ward & Ashley (1989)	“Corpos de água costeiros que são fisicamente separados do oceano, em maior ou menor grau, por uma porção de terra”.	-

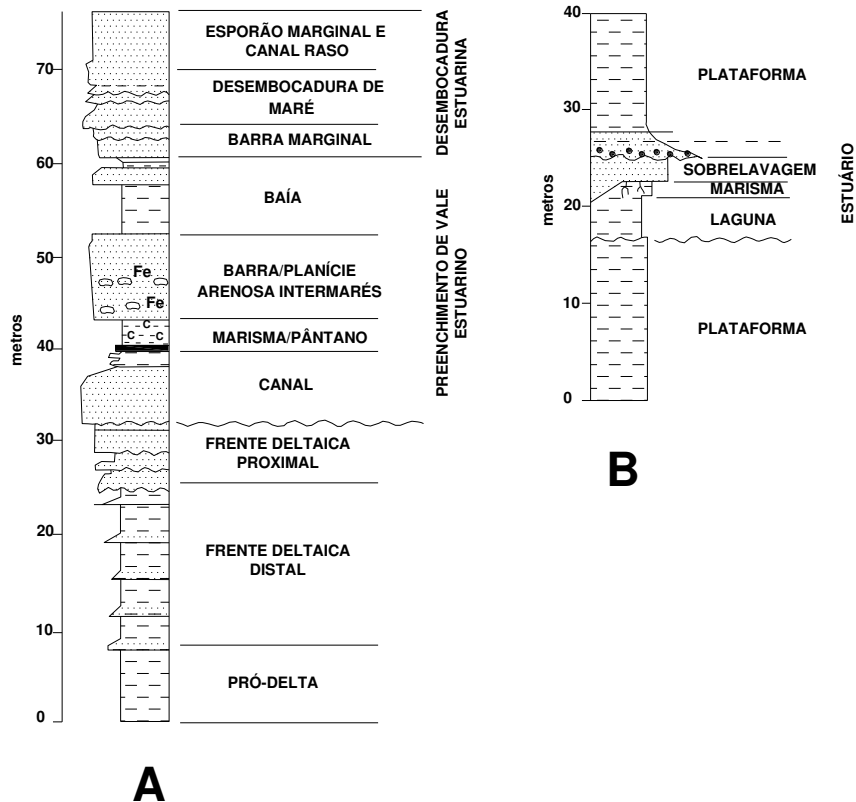
* Classificação equivalente à de estuários de Reinson (1992) (Quadro 2.2).

Fonte: compilado por Nascimento (2011).

3.1.3 Planícies de maré: considerações finais

As definições e classificações apresentadas denotam alguma dificuldade na literatura científica em diferenciar os elementos mais atribuídos e/ou portadores de planícies de maré: estuários, baías e lagunas, mas apresentam pistas para contornar o problema (NASCIMENTO, 2011). Em primeiro lugar, os termos “baía” e “laguna” apresentam conotação principalmente morfológica, especialmente baía (i.e. BIGGS, 1978; DAVIS, 1983). Assim, baías e lagunas não seriam claramente diferenciadas entre si quanto a processos de sedimentação. Isso significa que, idealmente, não devem ser contempladas em termos de modelos de fácies específicos. No entanto, baías e lagunas podem ser reconhecidas como componentes em modelos de fácies de outros sistemas deposicionais, inclusive antigos (delta, estuário etc.), mediante reconstruções paleogeográficas baseadas, por exemplo, em estudo fossilífero (i.e., REINSON, 1992) (Figura 11).

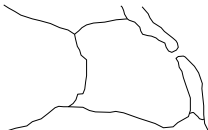
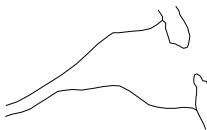
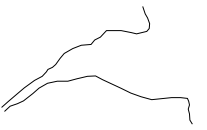
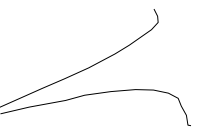
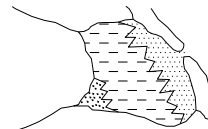
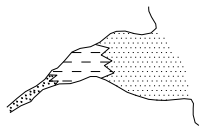
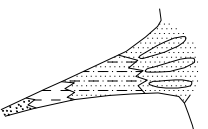
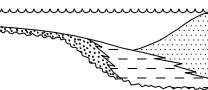
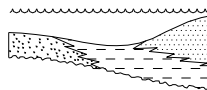
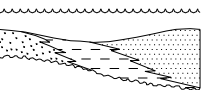
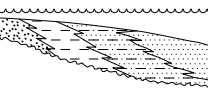
Figura 11 - Intervalos estratigráficos atribuídos a estuários. Nota-se a presença dos elementos “baía” e “laguna”, reconhecidos na análise de fácies. A. Seção cretácea do *canyon* Horseshoe, Bacia de Alberta (Canadá). B. Seção para costas sob transgressão, dissecadas (em “grau moderado”) durante sistemas de mar baixo (REINSON, 1992).



Fonte: Compilado por Nascimento (2011).

Do ponto de vista morfológico, a única diferença entre baías e lagunas seria seu grau de conexão (abertura) com o mar (i.e. NICHOLS; ALLEN, 1981; REINSON, 1992) (Tabela 5). No caso de lagunas costeiras, essa conexão seria restrita por uma ou mais barreiras (barras-barreiras, ilhas-barreiras, corais etc.). Em geral, baías podem evoluir para lagunas por isolamento do mar, tal qual observado em várias regiões do mundo, de duas maneiras: 1. através da formação de barreira transgressiva (sob taxa de aporte sedimentar menor que a de geração de espaço de acomodação), especialmente durante a desaceleração da subida de NRM (i.e. REINSON, 1992; COOPER, 1997); 2. por crescimento de esporão costeiro no rumo de deriva litorânea (portanto, em contexto de linha de costa progradante).

Tabela 5 - Esquema de classificação de estuários, traduzido de Reinson (1992). Seu modelo “lagunar” baseia-se na popularmente chamada “laguna Great Sound” (Nova Jérsei, EUA). Os demais modelos são comumente chamados de “baías”. Embora o autor relacione os diferentes tipos morfológicos a regimes particulares de maré e de ondas, a evolução natural (autogênica) do sistema permite, por exemplo, alterar a forma de um estuário do tipo aberto para parcialmente fechado.

ESTUÁRIOS DE PLANÍCIE COSTEIRA				
	← DOMINADO POR ONDAS →			← DOMINADO POR MARÉS →
	LAGUNAR	PARCIALMENTE FECHADO	ABERTO	DE MARÉS
CONFIGURAÇÃO MORFOLÓGICA	FECHADO, PARCIALMENTE ABERTO, PARALELO À COSTA 	PARALELO A PERPENDICULAR À COSTA 	PERPENDICULAR À COSTA 	PERPENDICULAR À COSTA 
AMPLITUDE DE MARÉ	MICROMARÉS	MICRO A MESOMARÉS	MESOMARÉS A FRACAS MACROMARÉS	FORTES MACROMARÉS (MARÉS EXTREMAS)
PADRÃO DE CIRCULAÇÃO	PARCIALMENTE MISTURADO	PARCIALMENTE MISTURADO A BEM ESTRATIFICADO (DEPENDENTE DA DESCARGA FLUVIAL)		HOMOGENEOS (VERTICAMENTE E LATERALMENTE)
PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS		SEDIMENTOS LAMOSOS AREIA FLUVIAL AREIA LITORÂNEA 		
SEÇÃO AXIAL				
EXEMPLO:	GREAT SOUND, NOVA JÉRSEI	MIRAMICHI, NEW BRUNSWICK	GIRONDE	BROAD SOUND, AUSTRÁLIA

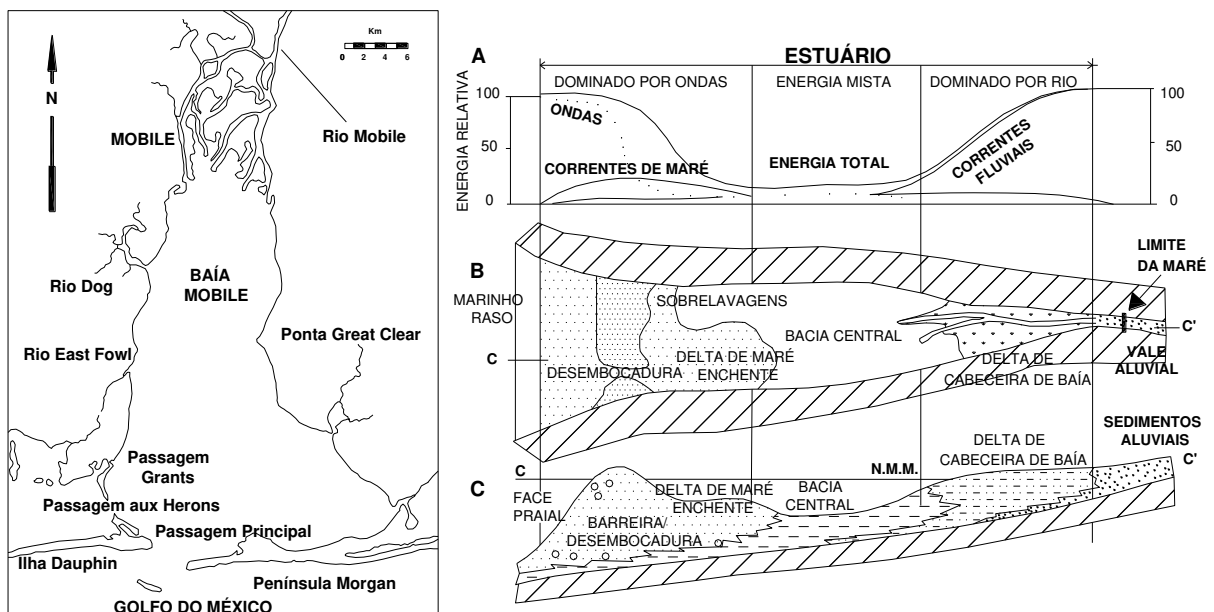
Fonte: compilado por Nascimento (2011).

Portanto, baías e lagunas costeiras compartilham os mesmos tipos de gênese: o afogamento de uma região semi-isolada do mar cuja herança fisiográfica que as condiciona é em geral produto de atividade tectônica ou glacial, seja ela pretérita (condicionamento estrutural e vales incisos) ou atuante (tectônica ativa e fiordes), mas que também pode envolver fatores como isolamento por barreiras de corais, arcos vulcânicos e mesmo o impacto de bólidos (NASCIMENTO, 2011).

No mais, verifica-se na literatura forte conotação do termo “estuário” com processos sedimentares, tanto herdados, pelo afogamento de um vale aluvial outrora escavado em período de forte regressão marinha, como atuantes, pela interação entre marés e canais fluviais (i.e. PRITCHARD, 1967; BIGGS, 1978; REINSON, 1992; DALRYMPLE et al., 1992; ROY et al., 1997; WRIGHT et al., 1999; BOYD et al., 2006) (Figura 12). Embora persistam dificuldades em relação ao estabelecimento dos limites nos rumos continental e marinho desse tipo de

sistema, suas fronteiras “laterais” são sempre relacionadas aos limites do próprio vale aluvial afogado. No âmbito morfológico, Reinson (1992, p.190) afirma que a transgressão marinha em uma planície costeira previamente dissecada por episódio de significativa queda no nível do mar produzirá estuários perpendiculares à linha de costa (em costas mais dissecadas durante a glaciação) e lagunas paralelas à linha de costa (costas menos dissecadas). Em adição, para diversos autores, estuários ora incluem baías e lagunas, ora são incluídos como elementos daqueles.

Figura 12 - Exemplos de estuários na literatura geocientífica. À esquerda, estuário da baía Mobile (Golfo do México, EUA) (extraído e traduzido de YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1986). À direita, distribuição de tipos de energia (A), componentes morfológicos em visão de mapa (B) e fácies sedimentares em seção longitudinal (C), dentro de um estuário idealizado dominado por ondas (ilustração traduzida de DALRYMPLE et al., 1992). Nota-se, nos exemplos apresentados, que os limites do estuário correspondem aos limites do próprio vale aluvial afogado.



Fonte: compilado por Nascimento (2011).

3.2 Desembocaduras de maré (*tidal inlets*) e deltas de maré vazante

Desembocaduras de maré (*tidals inlet, inlets*) são sistemas de comunicação direta entre um corpo de água mais largo do que seus canais alimentadores, e parcialmente isolado do mar aberto na zona costeira, com esta última, e onde processos de maré se tornam dominantes. Os

corpos de água são, em geral, estuários, com orientação geral predominantemente transversal à linha de costa, ou lagunas, com orientação geral paralela (SHEPARD; MOORE, 1960; REINSON, 1992). São mais comuns em regimes de macromarés (> 4m de amplitude média de maré) e mesomaré (2-4 m de amplitude média), mas podem ocorrer em zonas costeiras de micromarés (READING, 1978, 1996).

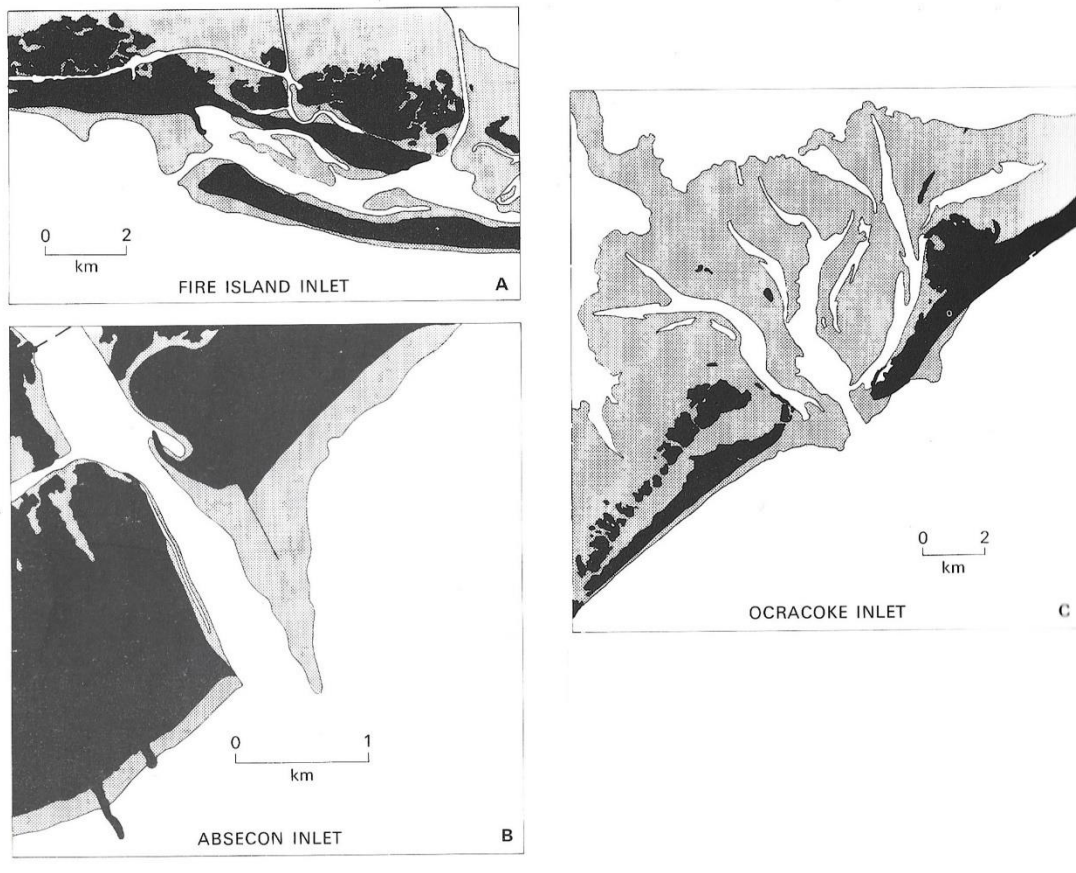
Inlets se prolongam através de um ou mais canais de maré ditos “principais” nos dois sentidos (mar-terra), mas podem ter morfologia de fundo complexa, bipartida, separando o fluxo preferencial da maré enchente do da maré vazante em um mesmo canal com fundo assimétrico (ou vários canais), na dependência de fatores locais como orientação da linha de costa, amplitude de maré e força da deriva litorânea (READING, 1996). A abertura de um *inlet* pode ser de até poucos quilômetros com profundidade de até 20 m, mas a maioria deles se alarga por dezenas a centenas de metros, com profundidade de poucos metros. Ao menos um dos lados bipartidos do canal (ou canais) de maré no *inlet*, o mais profundo, será do tipo inframarés, permanecendo com água mesmo durante as marés baixas de sizígia; o canal do *inlet*, no entanto, tende a se ramificar tão logo ele se estende em ambos os sentidos, às vezes formando canais de maré secundários, menores e mais estreitos (*tidal creeks*), que podem ficar temporariamente expostos (“sem água”) nos domínios de intermaré e, principalmente, supramaré, especialmente no lado continental (DALRYMPLE, 1992; BOYD et al., 2006). Por sua vez, as laterais do *inlet* possuem ao menos um lado mais desenvolvido por esporões de praia (*beach spits*), frequentemente recurvados, à semelhança de barras em pontal de rios, demonstrando o sentido principal de migração paulatina do conjunto (esporão + desembocadura). Essa migração paulatina geralmente se dá no sentido de fluxo da deriva litorânea; no entanto, processos de circulação mais complexos podem forçar a uma migração abrupta, com abandono da antiga posição em favor de um novo curso, mais uma vez, em semelhança com canais fluviais (avulsão). Isso pode ocorrer por fechamento parcial do canal seguido de aumento da pressão hídrica interna do estuário ou laguna (por exemplo, durante um período de chuvas mais intensas), ou seguido de rompimento do esporão ou barreira (*drumstick*) em uma nova posição após uma maré de tempestade (*storm surge*), ou ambos em combinação direta (READING, 1996).

O tipo de *inlet* varia em função das intensidades relativas entre os processos de marés e de ondas. Nesta base, Swift (1976) classifica os *inlets* em três tipos: 1. Sobreposto (*overlap*), quando seu canal (ou canais) de saída se curvam em um longo trecho subparalelo à costa; 2. Deslocado (*offset*), quando sua saída é transversal à costa, porém, com assimetria de

prolongamento entre as duas margens; 3. Simétrico (*symmetrical*), quando sua saída é transversal à costa e suas margens igualmente prolongadas (Figura 13).

Figura 13 - Tipos de desembocadura de maré (*tidal inlet*) de acordo com Swift (1976).

A. Sobreposto (*overlap*). B. Deslocado (*offset*). C. Simétrico (*symmetrical*).

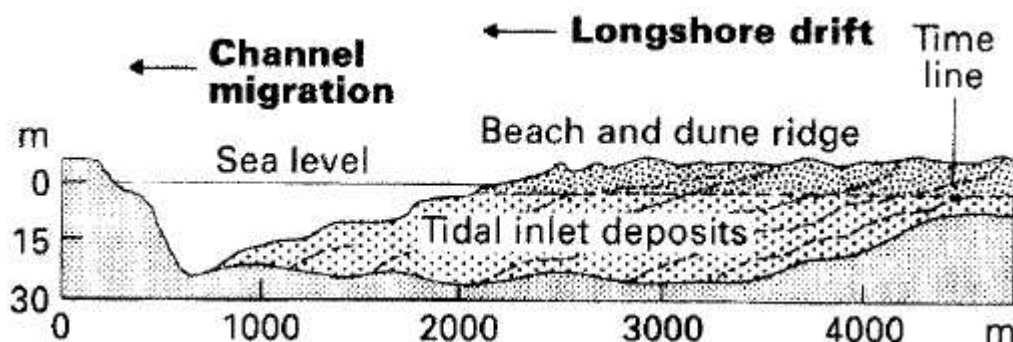


Fonte: Reading (1978).

Outro tipo de classificação de *inlets*, com a mesma base de Swift (1976), mas mais simples e menos morfológica, é devida a Reading (1996) que menciona que onde processos de maré são mais fortes, formam-se “desembocaduras de maré dominadas por maré” (*tide-dominated tidal inlets*), compostas de canais relativamente profundos e dominados pela maré vazante, favorecendo deltas de maré do último tipo. Este tipo de *inlet* migra lentamente ou permanece relativamente “fixo” em substratos coesos ligados a fundos lamosos e/ou depressões topográficas antecedentes. Por sua vez, onde processos de ondas são mais fortes, seriam formadas “desembocaduras de maré dominadas por ondas” (*wave-dominated tidal inlets*), caracterizadas por canais relativamente rasos e dominados pela maré enchente, mais favoráveis ao desenvolvimento de deltas de maré enchente (*flood-tidal deltas*) no lado oposto ao mar. *Inlets*

do último tipo tendem a ser simétricos onde as ondas se aproximam frontalmente à costa e assimétricos onde sua aproximação é oblíqua, com deriva litorânea significativa (READING, 1996). *Inlets* em costas dominadas por ondas também são os que mais migram paulatinamente no sentido da deriva litorânea, frequentemente favorecendo erosão na linha de costa a sotamar do *inlet*. No entanto, há relatos de casos em que a migração ocorre no sentido contrário quando correntes de maré conseguem escavar a margem sotamar (*updrift*) do *inlet* (REDDERING, 1983). Independente do sentido de migração, esta pode ocorrer rapidamente em alguns casos, produzindo corpos arenosos tabulares muito alongados ao longo da costa e estreitos na direção transversal (HOYT; HENRY, 1967) (Figura 14). Seu registro estratigráfico pode ser inclusive o dominante em antigas barreiras, uma vez que *inlets* escavam e depositam abaixo do nível médio do mar (READING, 1996).

Figura 14 - Modelo de canal de maré lateralmente migrante em uma ilha-barreira preenchida em sua base por um corpo arenoso de origem erosiva (baseado em HOYT; HENRY, 1967).

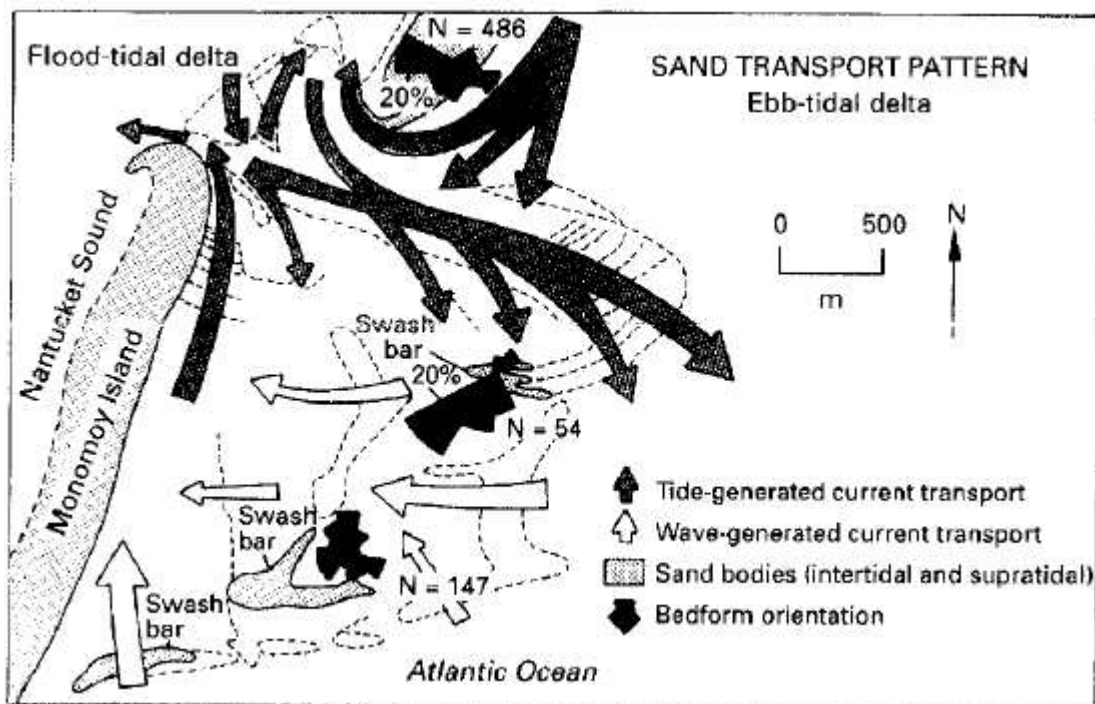


Fonte: Reading (1996).

Intimamente associados às desembocaduras de maré, os deltas de maré vazante são as feições sedimentares construtivas mais típicas de planícies de maré externas, ocorrentes no lado marinho logo após a saída de uma desembocadura de maré. Por esse motivo, é comum que eles sejam produto da interação entre correntes de maré e ondas, formando às vezes amplas acumulações de areia que podem se anexar à face praial caso migrem lateralmente junto com sua desembocadura (*inlet*) (READING, 1978). Na literatura científica, sinônimos de delta de maré vazante são os chamados “bancos associados a desembocadura de maré” (*inlet-associated bars*) e “baixios de entrada de estuário” (*estuary entrance shoals*) (READING, 1978), termos raramente usados hoje em dia.

Um dos padrões mais comuns em tais deltas é aquele em que o canal de vazante principal é lateralmente ocupado por bancos semelhantes a diques marginais de rios (*levee-like bars*) e frontalmente ocupado por lobos terminais e bancos de espraiamento (*swash bars*) (OERTEL, 1976). Processos de maré dominam no canal de vazante e na parte central do lobo, enquanto processos de ondas são mais efetivos nos flancos. Por esse motivo, nos deltas de maré vazante, formas de leito assimétricas produzidas por correntes subaquosas, como dunas 3D e ondas de areia (*sandwaves*), migrantes para o mar são, por esse motivo, flanqueadas por bancos de espraiamento migrantes no sentido do continente (HINE, 1975) (Figura 15).

Figura 15 - Padrões de transporte em um delta de maré vazante, ilustrando que sua parte central é dominada por processos de maré, e as margens laterais, por ondas (HINE, 1975).



Fonte: Reading (1978).

3.3 Granulometria

Segundo Suguio (1980, p. 18), o tamanho dos fragmentos detríticos é uma das principais propriedades físicas e texturais dos sedimentos, estando em parte relacionada à microgeometria da rocha-fonte erodida. Assim, é possível identificar os tipos predominantes de grãos e

compreender como eles são influenciados pelo ambiente onde o sedimento se encontra, além dos processos físicos que atuaram sobre ele ao longo do tempo.

Dessa forma, torna-se necessário utilizar uma escala para analisar a granulometria dos sedimentos; porém, não existe uma escala universalmente aceita. Mundialmente, a escala granulométrica mais adotada em geologia é a de Wentworth (1922) que, a partir da escala original de Udden (1898; 1914), resultou na escala de Udden-Wentworth, apresentada na Figura 16. Uma vez que os intervalos da escala granulométrica no sistema métrico (em milímetros) variam de forma exponencial, foi criada uma escala equivalente de modo a facilitar análises gráficas e estatísticas, a escala phi (Φ), cujos intervalos variam de maneira escalar (PETTIJOHN et al., 1987). A escala phi é obtida por uma razão logarítmica de base 2 aplicada à escala métrica:

$$\Phi = \log (\text{mm}^{-1})/\log (2)$$

A adoção da escala phi facilita as análises estatísticas tanto por sua variação escalar como por admitir valores negativos. No caso específico da escala granulométrica, o tamanho dos grãos naturais tende a obedecer a uma distribuição normal de frequências e pode ser assumido como diâmetro médio. Este é o primeiro momento de Pearson, de modo que a escala phi permite calcular rapidamente os demais momentos de Pearson, como desvio-padrão e assimetria (PETTIJOHN et al., 1987). Estes dois parâmetros estatísticos também possuem intervalos nominais baseados na classificação de Folk (1968). (Figura 16).

Figura 16 - Escala granulométrica e intervalos nominais de Udden-Wentworth (1922), para diâmetro médio, e de Folk (1968), para desvio-padrão e assimetria.

Wentworth (1922)	Média aritmética (= diâmetro médio)		Desvio-padrão (= 1/grau de seleção)	
	CLASSIFICAÇÃO	Φ	mm	
	Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1	Muito bem selecionado < 0,35
	Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5	Bem selecionado 0,35 a 0,50
	Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25	Moderadamente bem selecionado 0,50 a 0,71
	Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125	Moderadamente selecionado 0,71 a 1,00
	Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,0625	Mal selecionado 1,00 a 2,00
	Silte	4 a 8	0,0625 a 0,0039	Muito mal selecionado 2,00 a 4,00
	Argila	> 8	< 0,0039	Extremamente mal selecionado > 4,00
	Assimetria			
	Assimetria muito negativa	-1,0 a -0,3		
	Assimetria negativa	-0,3 a -0,1		
	Simétrica	-0,1 a 0,1		
	Assimetria positiva	0,1 a 0,3		
	Assimetria muito positiva	0,3 a 1,0		

Fonte: Adaptado de Wentworth (1922) e Folk (1968) por Muehe (1996).

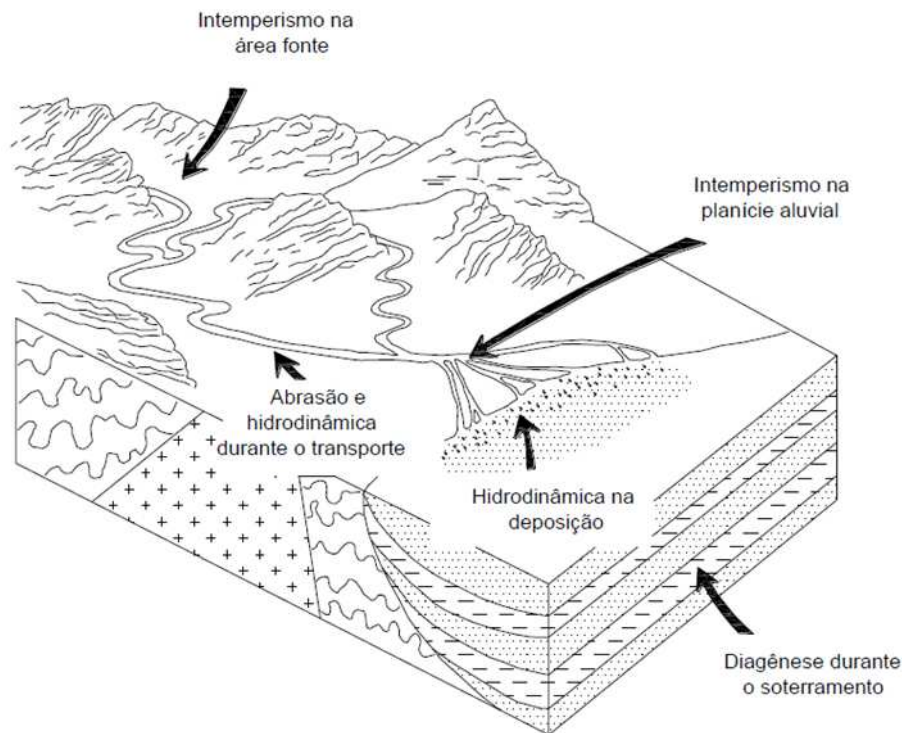
3.4 Minerais pesados

A análise de minerais pesados, de densidade superior a $2,8\text{g/cm}^3$, é uma ferramenta crucial na caracterização de rochas sedimentares e sedimentos recentes. Amplamente empregada para investigar a proveniência sedimentar (MORTON; HALLSWORTH, 1994), essa técnica também tem sido utilizada em estudos do Quaternário no Brasil, auxiliando na diferenciação de sedimentos de diferentes idades (GIANNINI, 1987, 1993; GIANNINI; SUGUIO, 1994; ANGULO et al., 1994, 1996; DEMIO; GIANNINI, 1997; GIANNINI et al., 1997; LESSA et al., 2000). Além disso, tem sido aplicada para inferir padrões de dispersão sedimentar em sistemas deposicionais recentes (TESSLER, 1982, 1988; GIANNINI, 1987, 1993; GIANNINI et al., 2004; NASCIMENTO, 2006; NASCIMENTO et al., 2008; GUEDES, 2009).

De acordo com Morton; Hallsworth (1999), a composição dos minerais pesados em areias e arenitos é influenciada por vários fatores: o tipo de rocha fonte; o intemperismo na área de origem; a abrasão mecânica durante o transporte dos sedimentos; o intemperismo nas áreas de armazenamento temporário; os processos hidráulicos no transporte e deposição final; a diagênese; e, por fim, após o soerguimento e a erosão, uma nova fase de intemperismo que ocorre no afloramento da rocha (Figura 17).

Além disso, a rocha fonte é uma variável fundamental na composição da assembleia de minerais pesados, pois influencia na disponibilidade e no tamanho dos minerais presentes. No entanto, seu papel é passivo, pois fornece a matéria-prima inicial que será alterada pelos processos de intemperismo, abrasão mecânica, seleção hidráulica e diagênese (GUEDES, 2009).

Figura 17 - Diagrama esquemático dos fatores controladores da assembleia de minerais pesados em areias e arenitos.



Fonte: traduzido de Morton; Hallsworth (1999) por Guedes (2009).

A fim de melhor avaliar a influência de cada fator que controla a assinatura mineralógica, Morton; Hallsworth (1994) propuseram comparar pares de minerais que compartilham características específicas semelhantes em relação a apenas dois dos três principais fatores de controle: 1. rocha fonte; 2. equivalência hidráulica; e 3. estabilidade química. A proposta é que apenas um desses fatores seja responsável, teoricamente, pela variação do par de minerais selecionado para análise. Dessa forma, seria possível inferir a eficácia desse fator específico no estudo de caso, observando a variação do par mineralógico no registro sedimentar correspondente. Essa comparação resulta em índices para se avaliar a influência de cada fator, que podem ser genericamente representados pela fórmula:

$$iAB = 100 \times (A/(A+B)) \quad (3)$$

Sendo A e B a contagem de um par de minerais pesados pré-estabelecido e diferencialmente sensíveis ao fator, gerando um índice (iAB).

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

O objetivo principal desta Dissertação é interpretar a morfodinâmica recente da planície de maré externa de Icapuí e seu litoral adjacente através de seus mecanismos de transporte registrados nos sedimentos, a fim de obter pistas sobre os processos que influenciaram sua formação e manutenção ao longo do tempo.

4.2 Específicos

- Realizar sensoriamento remoto via imagens de satélite e/ou fotografias aéreas da zona costeira de Icapuí para interpretação de suas feições naturais e antrópicas e suas mudanças ao longo do tempo;
- Realizar campanhas de campo para documentação de feições associadas àquelas obtidas do sensoriamento remoto e coletas de amostras arenosas desde a praia até a planície de maré externa de Icapuí;
- Realizar ensaios de granulometria e minerais pesados para inferir vetores de tendência de transporte sedimentar;
- Realizar análises estatísticas sobre os resultados de granulometria e minerais pesados visando padrões relacionados a tendência de transporte e a robustez da interpretação dos dados.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Análise de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas

Inicialmente imagens de satélite e fotografias aéreas da região da desembocadura da planície de maré externa e seu litoral adjacente foram estudadas através de levantamento bibliográfico prévio para se obter informações da região de estudo. Isso visou principalmente avaliar as mudanças em sua desembocadura e largura de sua barreira e de canais de maré.

Foram utilizadas imagens orbitais do satélite CBERS-4A, de 29/09/2024, com sensor WPM e do Google Satélite na data de 09/2020. Aplicou-se tratamentos de composição RGB em falsa cor, R (4-Near infrared) – G (3-Red) – B (2-Green), além de composição preto e branco. A interpretação de fotografias aéreas da década de 1950 (Figura 2) teve o auxílio de

imagens do Google Satélite e do DEM de LIDAR disponibilizado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará.

5.2 Atividade de campo

Duas atividades de campo foram realizadas de 8 a 11 de agosto de 2022 e de 17 a 19 de junho de 2023, sendo a segunda feita durante a maré baixa de sizígia, conforme indicado pela tábua de marés (DHN). No primeiro campo, 33 amostras foram coletadas ao longo da praia, com uma distância aproximada de 500 metros entre cada ponto, e georreferenciadas no momento da coleta usando GPS.

Os pontos de coleta da segunda campanha foram concentrados dentro da planície de maré em Icapuí, onde uma rede de pontos com equidistância de aproximadamente 250 metros foi previamente estabelecida. Na malha planejada, 173 pontos foram marcados; no entanto, devido às condições de acesso e de maré, foi possível coletar apenas 155 amostras, retirando aproximadamente 300 g superficial de cada ponto (Figura 18). Posteriormente, as amostras foram divididas em alíquotas conforme a massa necessária para cada teste de laboratório.

Figura 18 - Exemplo das amostras ensacadas pós coleta.



Fonte: Autor.

5.3 Separação de minerais pesados

Dezessete (17) alíquotas das amostras de praia, separadas regularmente a cada 1 km, foram escolhidas para a análise de minerais pesados. Para isso, foram utilizados apenas grãos

de areia fina e muito fina (3 a 4 phi, 0,125 a 0,062 mm) devido à maior concentração natural de minerais pesados nesse intervalo (PETTIJOHN *et al.*, 1987), que foram colocados em funis com válvula de fechamento para separação densimétrica com bromofórmio (CHBr_3 , $d \approx 2,80 \text{ g/cm}^3$) (Figura 19). Os funis com bromofórmio e sedimento foram agitados com bastões de vidro para quebrar qualquer tensão superficial dos grãos mais densos, permitindo que eles afundassem.

Figura 19 - Separação dos minerais pesados em funis com válvulas e filtros, e uso de bromofórmio.



Fonte: Autor.

Logo após, os grãos mais densos foram escoados pela abertura da válvula e coletados através de filtro de papel identificado (a lápis) sobre outro funil logo abaixo. O bromofórmio foi escoado para uma proveta que sustentava este segundo funil. Após a coleta da fração mais densa (“pesada”), um novo filtro identificado foi colocado para escoar a fração menos densa (“leve”). Eventuais grãos leves aderidos ao funil superior foram removidos por pisseta com álcool etílico 90%, após a substituição da proveta cheia de bromofórmio recuperado da etapa anterior por outra, vazia. Feitas as coletas, os filtros de papel identificados permaneceram em repouso por um dia no interior da capela para evaporação do bromofórmio residual. Após seu repouso, as frações mais e menos densas foram pesadas em balança analítica (Figura 20).

Figura 20 - Exemplo da quantidade de minerais pesados retidos pós separação densimétrica e magnética.

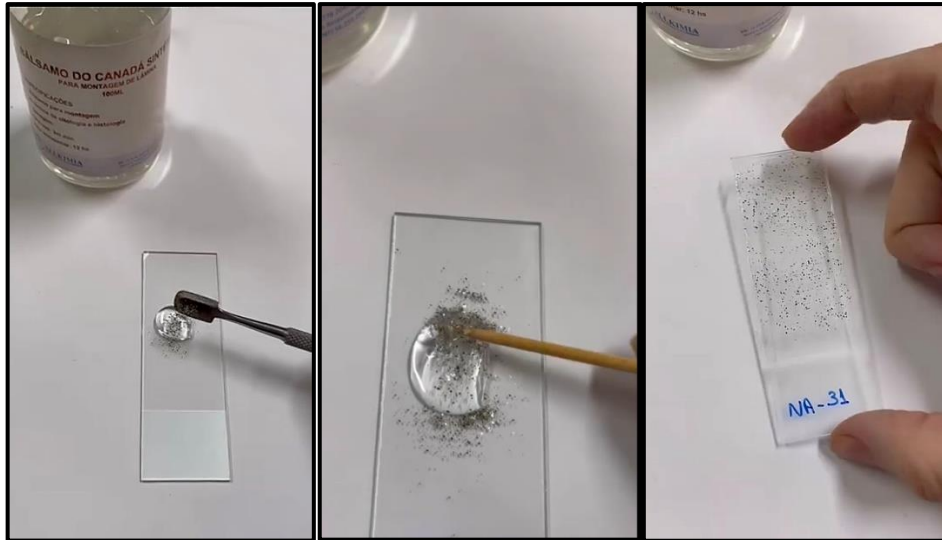


Fonte: Autor.

Para reduzir o conteúdo relativo de minerais opacos na fração densa, os minerais ferromagnéticos foram removidos com um ímã de neodímio coberto com plástico. A fração restante (não magnética) foi pesada novamente antes da preparação de lâminas petrográficas.

Lâminas petrográficas permanentes foram então preparadas, impregnando algumas gramas de grãos em um meio transparente de imersão (bálsamo do Canadá, $n \approx 1,545$), tomando cuidado para não sobrecarregar com grãos. Uma lamínula foi fixada sobre a lâmina com os grãos impregnados com bálsamo, e qualquer excesso foi retirado com palitos de madeira (Figura 21). Após a preparação e rotulagem, as lâminas foram deixadas para descansar por um dia para permitir o endurecimento do bálsamo.

Figura 21 - Preparo de lâmina utilizando o bálsamo de Canadá.

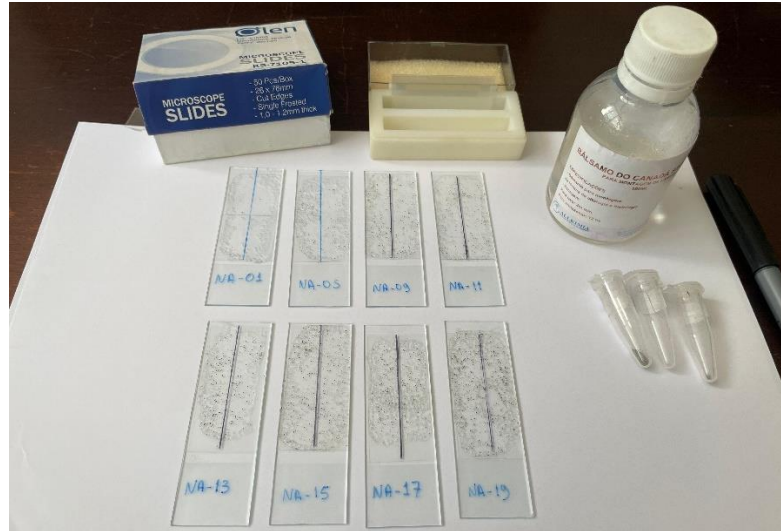


Fonte: Autor.

5.4 Contagem e obtenção de índices de minerais pesados

As lâminas petrográficas produzidas na etapa anterior foram usadas para a identificação e contagem de minerais pesados transparentes não micáceos (MPTNM) sob microscopia de luz polarizada em um microscópio BX41 Olympus. Técnicas comuns de microscopia ótica foram aplicadas para a identificação dos minerais pesados (TRÖGGER, 1979), com pequenas adaptações relacionadas à maior espessura dos grãos (MANGE; MAURER, 1992). A contagem foi realizada utilizando o "método das faixas", exemplificado na figura 22 (GALEHOUSE, 1971). Foram realizadas duas etapas de contagem: na primeira, todo o conjunto mineral foi identificado e contado, enquanto na segunda, apenas pares de minerais considerados índices para proveniência, transporte e alteração química por intemperismo (MORTON; HALLSWORTH, 1994) foram contados, selecionados com base na sua presença identificada na primeira fase.

Figura 22 - Lâminas prontas para contagem no microscópio, com linhas desenhadas de caneta para auxílio da contagem pelo método das faixas.



Fonte: Autor.

5.5 Granulometria da fração arenosa

Para a análise de fração arenosa as amostras foram inicialmente elutriadas em um sistema de torrente aquosa para a eliminação de sais e lama residual em pia de laboratório. Em seguida foram secas em estufa a 100°C por 24 horas (Figura 23A). Depois de secas, cerca de 90 a 120 g de cada amostra foram peneiradas em intervalos de 1 phi (WENTWORTH, 1922) com auxílio de agitador mecânico por 10 minutos (Figura 23B). As amostras retidas em cada intervalo de tamanho das peneiras foram, então, pesadas em balança analítica de precisão (três casas decimais do grama), e separadas para arquivo.

Figura 23 - Amostras postas para secagem na estufa em A e durante o peneiramento no agitador mecânico, em B.



Fonte: Autor.

5.6 Integração e análise

Todos os dados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho foram consolidados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para fins de análise e geração de mapas temáticos. Estes produtos possibilitaram a identificação da morfologia ao longo da linha de costa e planície de maré de Icapuí.

A geração de todos estes produtos possibilitou a discussão acerca dos processos que atuam na planície, além dos fatores que influenciam uma maior dinâmica de transporte, descarga de sedimentos, correntes ou deriva litorânea, em especial em relação aos canais de maré existentes na área.

5.7 Tratamento estatístico da granulometria: distribuição dos três primeiros momentos de Pearson

Para a análise da distribuição de frequências do tamanho de grãos, os parâmetros estatísticos dos três primeiros momentos de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria) para distribuições normais foram calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson, através da planilha *Momento 4.1* (NASCIMENTO, 2006).

Em posse desse resultado, foram gerados mapas utilizando o método de interpolação das estatísticas de diâmetro médio, desvio padrão e assimetria, através do sistema da metodologia anterior (SIG). Para isso, era preciso utilizar a divisão de classes de Wentworth e Folk descritos nas figuras 9 e 10 para os três parâmetros, porém a disposição dos valores obtidos gerou uma homogeneidade nas classes, dificultando a interpretação da dinâmica ao longo da planície de maré nos mapas. Portanto, utilizou-se a Regra de Sturges para determinar, em função do número de amostras (188), o número ideal de classes para o histograma.

Dentre as fórmulas existentes para o cálculo do número de classes em função do número de pontos de dados (N), a mais efetiva e popular é a Regra de Sturges (HAAN, 1977, p. 17-18; WELLMER, 1998, p. 10), sendo um método empírico que classifica um conjunto de dados representando uma amostra ou população. Segundo esses autores, o número de classes (Nc) pode ser calculado, conforme:

$$Nc = 1 + 3,322 \log N \quad (4)$$

Com isso, obteve-se o resultado de 9 classes a serem distribuídas e interpoladas.

5.8 Tratamento estatístico da granulometria: obtenção de vetores de transporte

As variações destes parâmetros aceitas pelo teste estatístico de regressão, avaliadas em conjunto, são usadas na inferência do sentido geral de transporte sedimentar, pela regra de McLaren; Bowles (1985). Essa regra descreve dois padrões que indicam a direção do transporte dentro de um sistema sedimentar: i) 'mais fino / melhor selecionado / mais negativo' (Caso B); ii) 'mais grosso / melhor selecionado / mais positivo' (Caso C). Quando nenhum desses padrões é identificado, não é possível determinar com certeza a direção do transporte efetivo de sedimentos. As variações destes parâmetros aceitas pelo teste estatístico de regressão, avaliadas em conjunto, são usadas na inferência do sentido geral de transporte sedimentar, pela regra de McLaren; Bowles (1985).

Essa regra descreve dois padrões que indicam a direção do transporte dentro de um sistema sedimentar: i) 'mais fino / melhor selecionado / mais negativo' (Caso B); ii) 'mais grosso / melhor selecionado / mais positivo' (Caso C). Quando nenhum desses padrões é identificado, não é possível determinar com certeza a direção do transporte efetivo de sedimentos. Para uma análise unidimensional, a correlação entre os dados dos momentos de Pearson foi analisada usando gráficos de dispersão das distribuições de frequências de tamanho das partículas. Para

avaliar os resultados do coeficiente de correlação linear (r), o critério utilizado foi o nível de significância ou erro I (p), que representa a probabilidade de rejeitar uma hipótese nula verdadeira (H_0). Neste caso, H_0 indica a ausência de uma correlação significativa ($r \approx 0$), e p pode ser considerado como a probabilidade de aceitar uma correlação inexistente. A estimativa dos valores máximos de p foi feita por interpolação, comparando o valor t do teste de regressão unilateral (distribuição t de Student).

Para amostras distribuídas em um espaço bidimensional, foi adicionado o conceito de rede de vetores de transporte, introduzido por Gao; Collins (1992), juntamente com a regra de McLaren; Bowles. Nessa aplicação, cada ponto amostrado foi comparado individualmente com todos os seus vizinhos a uma distância especificada pelo usuário. Com base nesses princípios, o presente estudo calculou a direção do transporte utilizando o programa gratuito *Grain Size Trend Analysis with Significant Test* (GSTAST), desenvolvido por Chang et al. (2001). Este programa aplica a regra geral de McLaren; Bowles enquanto incorpora o conceito de rede de vetores de transporte, com a vantagem de realizar um teste de significância nos dados. Dentro desse framework, os três primeiros momentos de Pearson de cada estação amostrada foram usados para definir vetores em relação a um número específico de estações vizinhas. A "estação vizinha" é definida pelo usuário como uma distância característica (D_{CR}) que determina o raio de influência dos fatores que determinam a direção local do transporte. A direção de cada vetor resultante depende das posições relativas (coordenadas UTM) entre as estações vizinhas que apresentam um padrão de variação aceito pela regra de transporte. Cada vetor de transporte (L) aceito pela regra, que se estende de uma estação para a estação vizinha, recebe um "comprimento" com valor igual a um (1), tornando-o adimensional. Para estações com múltiplos vetores, L será calculado como o vetor resultante, possuindo direção e valor escalar determinados pela soma vetorial.

Na etapa seguinte, os valores originais dos parâmetros de granulometria de cada estação são trocados aleatoriamente entre si por um número definido de vezes (iterações). Chang et al. (2001) concluíram que, ao testar o efeito estatístico do número de iterações, para intervalos de confiança acima de 50%, o número de vetores residuais aceitos pelo teste permanece constante após 100 iterações. Esse número é recomendado, embora o programa GSTAST permita até 10.000 iterações.

O mesmo procedimento usado para calcular os vetores com os dados originais ("verdadeiros") de cada estação é aplicado às estações com dados trocados gerados pelas iterações. Em seguida, todos os vetores obtidos (incluindo os calculados com os dados "verdadeiros") são agrupados por estação em distribuições de frequência. O próximo passo,

aplicado a toda a distribuição de frequência dos vetores, é calcular o valor crítico do comprimento do vetor (L_x) em um intervalo de confiança unilateral utilizando o teste t de Student, um valor definido pelo usuário.

Por fim, para cada estação amostrada, o vetor de comprimento L gerado a partir dos dados originais é comparado com seu valor crítico correspondente (L_x), obtido da distribuição de frequência dos vetores de comprimento calculados usando todos os conjuntos de dados. Cada vetor L será aceito quando seu valor adimensional for maior que o valor do vetor correspondente L_x (CHANG et al., 2001). Além disso, o resultado de L será mais consistente quanto maior for seu valor adimensional.

6 RESULTADOS

Os resultados obtidos na pesquisa estão expressos na forma do artigo científico denominado: **The thing that should not be: the ebb-tidal delta and adjacent beach at Icapuí, Ceará, Brazil** em inglês, que foi submetido a publicação no periódico científico Quaternary and Environmental Geosciences (<https://revistas.ufpr.br/abequa>), na forma como aqui é apresentado.

25/11/24, 17:01

Gmail - [QEG] Agradecimento pela submissão



Narjara <narjaramaria@gmail.com>

[QEG] Agradecimento pela submissão

1 mensagem

Carlos Conforti Ferreira Guedes via Biblioteca Digital de Periódicos da Universidade

22 de novembro de 2024

Federal do Paraná <revistas_ojs@ufpr.br>

às 14:26

Responder a: Carlos Conforti Ferreira Guedes <carlos.guedes@ufpr.br>

Para: Narjara Maria Araújo Carneiro <narjaramaria@gmail.com>

Narjara Maria Araújo Carneiro:

Obrigado por submeter o manuscrito, "A coisa que não deveria ser: o delta de marê vazante e litoral adjacente em Icapuí, Ceará, Brasil" ao periódico Quaternary and Environmental Geosciences. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://revistas.ufpr.br/abequa/authorDashboard/submission/97614>

Usuário: narjaramaria

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Carlos Conforti Ferreira Guedes

Quaternary and
Environmental Geosciences <https://revistas.ufpr.br/abequa>

The thing that should not be: the ebb-tidal delta and adjacent beach at Icapuí, Ceará, Brazil
A coisa que não deveria ser: o delta de maré vazante e litoral adjacente em Icapuí, Ceará, Brasil

Narjara Maria Araújo Carneiro^{ab}, Claudio Ângelo da Silva Neto^{ac}, Daniel Rodrigues do Nascimento Júnior^{ad}

^aUniversidade Federal do Ceará, ^bnarjaramaria@gmail.com, ^cclaudioasn@gmail.com,

^ddaniel.rodrigues@ufc.br

Abstract

In the Icapuí city, Ceará State (Brazil), the existence of an intriguing external tidal flat (ETF), referred as an ebb-tidal delta in the literature, captures the attention. It is also part of an Environmental Protection Area with a rich ecosystem for migratory birds. With approximately 12 km², the Icapuí ETF is one of the largest in the State, and it is about 60% larger than its internal counterpart (lagoon), being also directly attached to the beach on both sides of its inlet. Its progradation, however, is not associated with an embayed region, in addition to the absence of a significant river course, either at its inlet or on the internal tidal flat. The region is also marked by a relatively strong coastal drift current, up to 0.31 m/s, oriented SE-NW. In this context, the main objective of this study was to estimate and calculate sediment transport vectors to understand the dynamics of the Icapuí ETF, reverberating on the interpretation of its origin and classification. For this purpose, 188 sediment samples of the ETF were collected and sieved to calculate transport vectors based on the statistics of the first three Pearsons' moments of the grain size analysis. Thus, for the two-dimensional analysis, 26 transport trend vectors (14%) were accepted with an average direction towards ESE (120° AZ, L95=0.91), by significance testing in the GSTAST program. However, all vectors with greater significance (n=9, L95=1.19) point towards NNE (28° AZ). In the first case, it is interpreted the general effect of the ebb tide current over the ETF oppositely to the expected longshore drift, and in the second, its more specific effect through subtidal channels in front of the inlet. In isolation, the one-dimensional granulometric analysis of the beach, from a heavy mineral index, favors transport in the SE direction on both sides of the inlet, but especially on the side of the same quadrant that, in such direction, would be dominated by the ebb tide as opposed to longshore drift. This one-dimensional interpretation for the beach is supported by the heavy mineral index for transport (sillimanite-garnet, SGi), whose value is high (65% on average) and increases towards SE (up to >85%). This set of characteristics allows assuming that the local transport of

the Icapuí PME is dominated by the ebb tide, corroborating the classification of ebb-tidal delta for the Icapuí ETF and, at the same time, implying an atypical condition for its origin and maintenance over time.

Keywords: tidal flat; ebb-tidal delta; transport vectors; granulometry; heavy minerals.

Resumo

No município de Icapuí, Estado do Ceará, chama a atenção a existência de uma intrigante planície de maré externa (PME), referida como delta de maré vazante na literatura. Trata-se também de parte de uma Área de Proteção Ambiental com um rico ecossistema para aves migratórias. Com cerca de 12 km², a PME de Icapuí é uma das mais extensas do estado, cerca de 60% maior que sua contraparte interna (laguna), e se anexa diretamente à praia em ambos os lados de sua desembocadura (inlet). Sua progradação, porém, não está associada a uma região embaiada, além de inexistir um curso fluvial expressivo, seja em sua desembocadura ou na planície de maré interna. A região também é marcada por uma corrente de deriva litorânea relativamente forte, de até 0,31 m/s, orientada SE-NW. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo principal estimar e calcular vetores de transporte sedimentar para compreensão da dinâmica da PME de Icapuí, repercutindo na interpretação de sua origem e classificação. Para tanto, foram coletadas e analisadas 188 amostras de sedimento da PME e peneiradas para cálculo de vetores de transporte baseados nas estatísticas dos três primeiros Momentos de Pearson da granulometria. Para a análise bidimensional, foram aceitos 26 vetores de tendência de transporte (14%) com rumo médio voltado para ESE (120° AZ, L95=0,91), através do teste de significância no programa GSTAST. Entretanto, todos os vetores com maior significância (n=9, L95= 1,19) apontam para NNE (28° AZ). No primeiro caso, interpreta-se o efeito geral da corrente de maré vazante sobre a PME em oposição à deriva litorânea esperada, e, no segundo, seu efeito mais específico através de canais de inframaré defronte à desembocadura principal. Isoladamente, a análise granulométrica unidimensional da praia, a partir de um índice de minerais pesados, favorece o transporte no sentido SE em ambos os lados da desembocadura, mas, especialmente no lado do mesmo quadrante que, por esse sentido, seria dominado pela maré vazante em oposição à deriva litorânea. Essa interpretação unidimensional para a praia encontra suporte no índice de minerais pesados para o transporte (sillimanita-granada, iSG), cujo valor é elevado (65% em média) e aumenta rumo SE (até >85%). Esse conjunto de características permite supor que o transporte local da PME de Icapuí seja dominado pela maré

vazante, corroborando com a classificação de delta de maré vazante para a PME de Icapuí e, ao mesmo tempo, implicando em uma condição atípica para sua origem e manutenção ao longo do tempo.

Palavras-chaves: planície de maré; delta de maré vazante; vetores de transporte; granulometria; minerais pesados.

1 INTRODUCTION

Ebb-tidal deltas are prominent features seaward different types of tidal flats like lagoons, estuaries, and bays (Reading, 1978). They are developed where the sedimentary discharge crossing a barrier through an inlet is enough to be stacked, and, at least, partially preserved from the dispersion by waves and other marine processes (Hubbard, 1975; Oertel, 1975). When compared to its counterpart – flood-tidal deltas –, ebb-tidal deltas are usually smaller, irregular, frequently submerged features (Suguio, 1992). Along with their underwater subtidal channels, ebb-tidal deltas only emerge during the lower water levels of spring tides, being the main element of external (marine) tidal flats (Reading, 1978; Reinson, 1992; Dalrymple, 1992; Boyd et al., 2006).

The coast of Icapuí (Ceará State, Brazil) is remarked by a very uncommon situation, where a triangular, fan-shaped external tidal flat, referred as ebb-tidal delta (Meireles, 1991), occupies an area of about 12 km², larger than its own internal feeder system, a lagoon (Figure 1). There, the lagoon barely does not have a flood-tidal delta, being most of its former extension nowadays featured by shrimp farms and salt evaporation ponds; however, there are still natural features composed by supratidal to intertidal salt marshes (mangrove), muddy-to-sandy flats, and tidal creeks, especially in the vicinities of the inlet. Even considering its previous natural extension, the area of the lagoon was already smaller, with about 7.5 km². Besides, the lagoon has not any significant freshwater drainages, thought the groundwater as the main source of water especially during dry seasons. As a consequence, the discharge and suspended load of sediments delivered by the inlet are weak (Maia & Souza, 2018), therefore hard to explain a huge ebb-tidal delta in front of it.

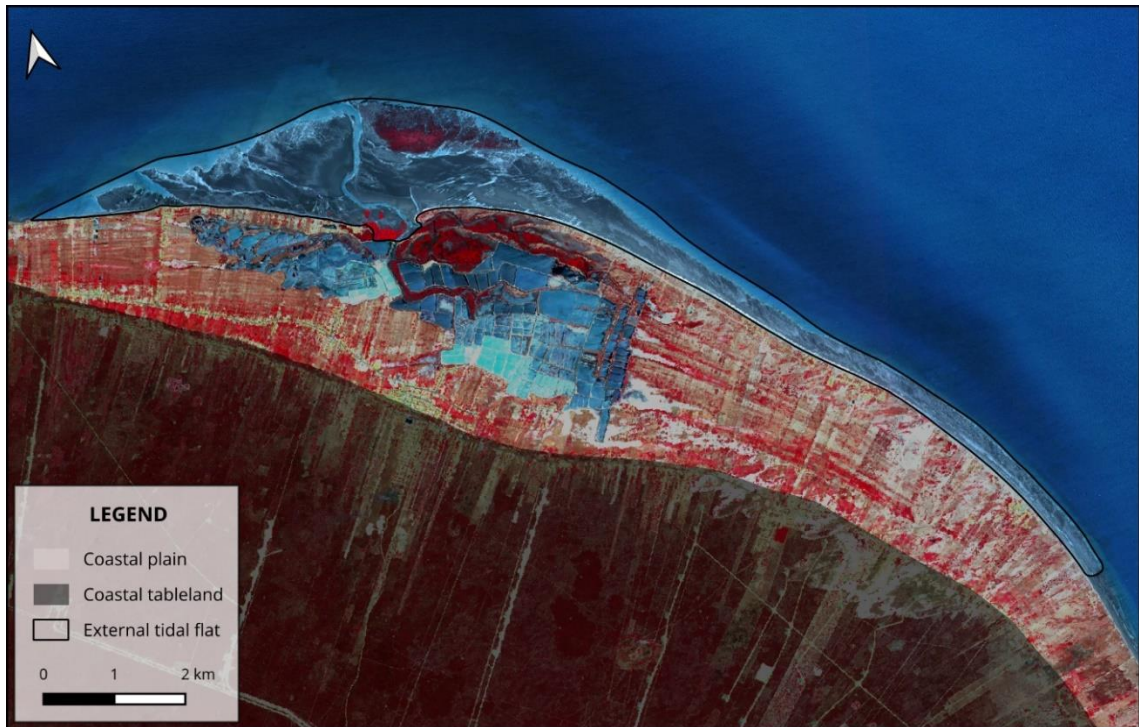


Figure 1 - Map showing an overview of the Icapuí coastal plain in 2024. The image is from the CBERS-4A satellite, with an RGB composition highlighting mangrove vegetation in vibrant red tones and the algae bank on the outer tidal flat.

According to Meireles (1991), this delta represents one of the best morphological sets demonstrating relative fluctuations in sea level since the Pleistocene. Souza (2016) suggests that this delta may contribute to the negative sediment balance of the downland beaches by retaining drifting sediments from the tidal flat.

Coastlines adjacent to river mouths tend to experience significant migrations, especially when influenced by ebb tides, leading to sand accumulations in front of river mouths formed by the interaction of wave-generated currents and tides. Their morphology is strongly influenced by the erosion and deposition patterns along these coastlines, making them highly unstable (Fitzgerald, 1984). These features constitute an important sediment reserve for the coastlines adjacent to the mouths (Elias, 2001).

Sand accumulated in front of inlet mouths may strongly influence the coastal dynamics locally, sometimes favouring transport in the opposite direction of wave currents and the littoral drift. In this context, Aubrey and Speer (1984) highlight the importance of three mechanisms responsible for the migration of a tidal channel upstream drift currents: (1) the establishment of an ebb-tidal delta; (2) storm-induced barrier breaching; and (3) ebb tide discharge around a channel, creating a three-dimensional flow pattern that erodes the channel's outer bank and adds to its inner bank. The first aspect is notable in the Icapuí region, despite the tidal channels and

sandbars do not resemble an ebb-tidal delta, but rather an external tidal flat that has gained amplitude towards the sea. Finally, a third proposed mechanism also appears to act in conjunction with the longshore drift current, directly influencing the counterclockwise rotation of the tidal channels.

Furthermore, other factors highlight the unusual nature of having an ebb-tidal delta in Icapuí. These include the fact that the coast is prominent and not embayed, which is unfavourable for marine sediment capture; and the general regional longshore drift E-W is relatively strong, with speeds ranging from 0.24 to 0.31 m/s (Maia, 1998), therefore tending to prevail over tidal effects.

Therefore, given the lack of hypotheses exploring this dynamic, the present work aims to identify how the morphodynamics of the ebb-tidal delta in Icapuí and its adjacent coastline have evolved. This will be based on a detailed study of its sedimentary aspects and the effective transport of sediments, in order to understand the processes that influenced its formation and origin.

2 STUDY AREA

The Icapuí city is located in the extreme east of the state of Ceará, along the coastal plain within the lower Jaguaribe microregion (Figure 2). The Icapuí ebb-tidal delta is located in the central sector of the municipality's coastal plain, which is one of the widest and most extensive in the state of Ceará.

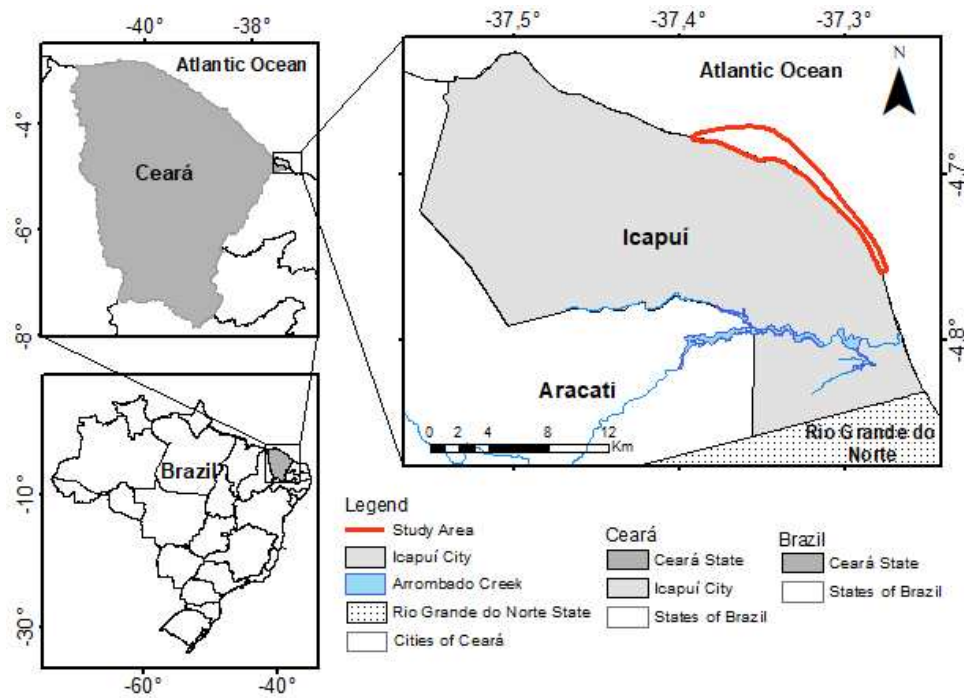


Figure 2 - Location map of the study area in the Icapuí city (CE) and its main drainage systems

This region consists of a complex set of morphological units that have resulted from changes in relative sea level and climate fluctuations during the Quaternary. Its territory also encompasses an area where land use and occupation have significantly increased in recent decades, influenced by the growing local population, the establishment of industries (such as oil, salt, shrimp farming, and wind power), and tourism ventures. Recent studies conducted in the area (Muehe, 2006; Ximenes, 2013; Fernandes et al., 2015; Souza, 2016; and Barros, 2018) indicate that the city of Icapuí experiences significant changes in its coastline over short intervals, driven by a combination of natural and anthropogenic factors.

The external tidal flat of Icapuí is relatively huge, also presenting some subtidal channels branching from the inlet mainly towards the northwest direction. Such orientation is coincident with sandwaves migrating in the same sense, thus suggesting the influence of drift currents perhaps combined to tidal fluxes (Silva Neto, 2019). Northwards, the external tidal flat is limited by an algal embankment, being that place the maximum depth and extension to the sea. Most of the external tidal flat area covers until about 5 km each side of the inlet (SE and NW), quickly reducing its extension after that to a mere 300 m or less seawards, but this persists for kilometres both sides, especially to the southeast. The entire width of the tidal flat along the coastline is about 18 km, with an adjacent beach only interrupted by a stretch of 700 m where the inlet meets the sea. For its turn, the beach is the outer limit of two spit barriers, presenting

the typical “hook-like” feature in the tips marked by curved sand ridges. Older “hook-like” sand ridges occur mainly southeast, thus demonstrating ancient positions of the inlet and the spits’ growth steps. For its turn, straight, continuous sand ridges also occur parallel to the coastline both in the spits and, especially, at rear inland it (southwest), then constituting a strandplain with about 30 km of length and a maximum of 3 km of width (Silva Neto, 2019).

3 PHYSIOGRAPHY

Since it is a coastal area, the driest periods are often moderated by mild temperatures. Consequently, seasonal changes in rainfall, along with variations in wind speed and wave patterns, contribute to the movement of sediments and other materials in both continental and shallow shelf environments (Barros, 2014).

The region’s climate is classified as Tropical Hot Semi-Arid Mild, with average temperatures ranging from 26 to 28°C (IPECE, 2016). Total annual rainfall averages 914.62 mm, occurring primarily from January to May, with peak intensity in March and April, accounting for 93% of the average annual precipitation according to data from the Ceará Meteorological Foundation (FUNCEME, 2011). These rains are influenced by the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which is primarily formed by the convergence of trade winds from the Northern and Southern Hemispheres.

According to Meireles (2012), Ceará’s coast experiences predominantly SE, ESE, E NE winds, with average speeds reaching 4.5 m/s and often peaking at 11 m/s during the dry months from August to November. Meireles also highlights that, due to the influence of the ITCZ in the first half of the year, winds predominantly shift to NE, while in the second half, they shift to SE.

Monteiro Neto (2003) states that the coast of Ceará has a fairly straight profile, a formation that promotes the occurrence of waves along almost the entire coastline. The wave regime is characterized by "swell" waves with an average variation of 0.8 to 2.2 meters, predominantly from the southeast. Consequently, the main component of the longshore drift moves in an east-to-west direction.

In Ceará, the tides are semi-diurnal, typical of mesotidal environments, with an average amplitude of approximately 3.2 m (Moraes, 1981; Maia, 1998; Pinheiro et al., 2016). In Icapuí, tides can reach 4 m during spring tides, and the amplitudes were analyzed throughout 2024 (DHN), when samples were collected from the tidal plain. Maximum levels reached around 3.8

m and 3.7 m, while the annual minimums dropped to -0.1 m. A mirrored pattern of these values is observed, showing a consistent oscillation. (DHN, 2024)

According to Bub & Brown (1996), the coastal zone of Icapuí is influenced by the Atlantic Equatorial Current, specifically the North Brazil Current (NBC). This is a western boundary current in the Atlantic Ocean, where the seasonality of its transport is evident, with a maximum between July and August, decreasing throughout the year until the minimum is reached between April and May (Joiins & Lee, 1998),

4 GEOLOGIC SETTING

Regionally, the Icapuí coastline is situated within the tectonostratigraphic context of the Potiguar Basin, where tectonic evolution began by extensional forces during the Lower Cretaceous, generating in rifting that caused the separation of the South American and African plates. As a consequence, different types of sedimentary rocks have been formed and reworked by the sea, especially in the active cliffs (Meireles, 1991).

The superficial lithology consists of the following sets: (i) limestones attributed to the Jandaíra Formation; (ii) mudrocks and arkoses of the Barreiras and Tibau formations; (iii) shales and mudrocks the Potengi Formation; and (iv) Quaternary deposits, mainly dunes (both mobile and fixed), coastal sand ridges, tidal flats, and beaches (Sousa et al., 2008).

The area features a complex set of morphological units that have resulted from changes in the relative sea level and climate during the Quaternary, especially since the Last Relative Sea Level Maximum of about 125 ka ago (Silva, 2012). These include active and inactive cliffs, marine terraces, mobile and fixed dunes, coastal lagoons rocky and sandy beach strips, and tidal flats associated with channels, mangroves, and salt marshes (Meireles et al., 2005; Meireles; Santos, 2012).

Meireles, Raventos, and Thiers (2006) indicate the presence of an ebb-tidal delta in front of the mouth of the Barra Grande lagoon, located in the central sector of the Icapuí coast. This system forms an extensive plain that extends up to two kilometers from the coastline, revealing sandbanks and tidal channels during low tides, with a flow direction that converges toward the inlet. This configuration highlights a slight dip of the Holocene terraces toward the central sector of the plain.

5 METHODS

Two field campaigns were conducted from August 8 to 11, 2022, and from June 17 to 19, 2023, with the second set of activities taking place during a low spring tide. During the first field campaign, 33 sandy samples of approximately 300 g were collected along the beach adjacent to the external tidal flat of Icapuí, regularly separated by about 500 meters each other. The sampling stations were also recorded by their morphological features and the shoreface attitude, i.e. dip direction and declination of the swash zone, was taken by compass. For its turn, the sampling stations for the second campaign were concentrated on the external tidal flat in front of the beach, performing a grid of stations separated by about 250 meters each other, totalizing 155 samples (Figure 3). Subsequently, all the samples were divided into aliquots based on the specific mass and analyses required for each laboratory procedure.

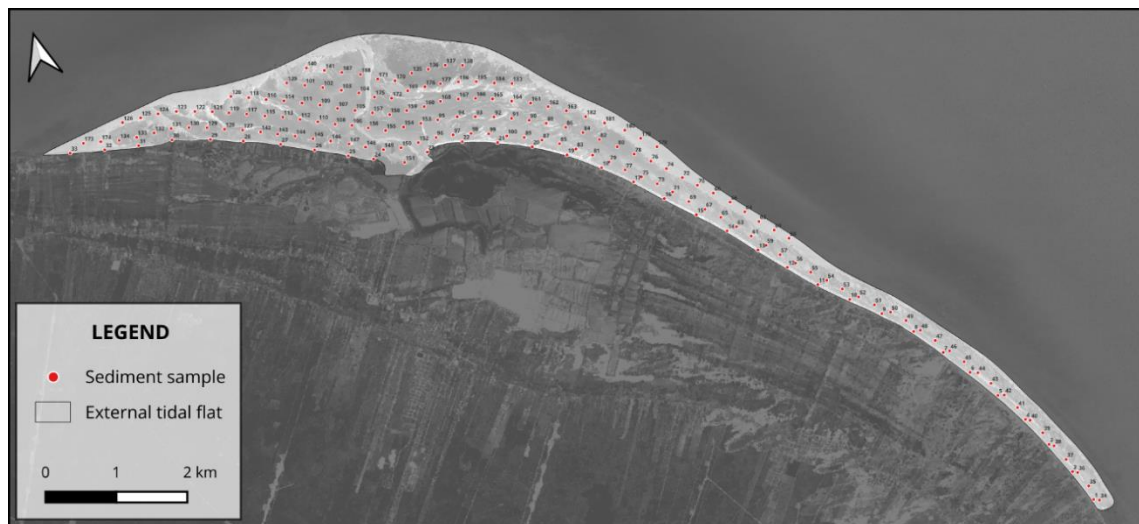


Figure 3 - Map of sampling points grid collected in the study area.

A grain size analysis was performed for the sand fraction of the samples after the removal of thinner grains and salt through the washing under a water torrent system in a laboratory sink. They were then dried in an oven at 100°C for 24 hours. After dried, aliquots of approximately 90 to 120 g of each sample were sieved at 1 phi intervals (Wentworth, 1922) using a mechanical shaker for 10 minutes. The aliquots retained in each sieve size interval were weighed on a precision balance (three decimals of the gram) and set aside for archiving.

Seventeen (17) aliquots of the beach samples, regularly separated 1 km each other, were elected for heavy mineral analysis. For that, only grains of fine and very fine sand (3 to 4 phi, 0.125 to 0.062 mm) were used and poured into funnels for a desimetric separation by bromoform (CHBr_3 , $d \approx 2.80 \text{ g/cm}^3$). The funnels with bromoform and sediment were stirred with glass rods to break any surface tension of the denser grains, then allowing their sinking.

After the settling and drying, heavy and light grain fractions were both weighed on an analytical balance. To reduce the relative content of opaque minerals in the denser fraction, any ferromagnetic minerals were removed using a neodymium hand magnet covered with plastic wrap. The remaining (non-magnetic) fraction was weighed again before preparing petrographic slides. Permanent petrographic slides were then made by impregnating a few grams in a transparent immersion medium (Canada balsam, $n \approx 1.545$), ensuring not to oversaturate with grains. A coverslip was adhered to the slide over the balsam-impregnated grains, with any excess collected using wooden sticks. Once prepared and labeled, the slides were left to rest for a day to allow the balsam to harden.

The petrographic slides produced in the previous step were used for the identification and counting of non-micaceous transparent heavy minerals under polarized light microscopy in a BX41 Olympus microscope. Common optical microscopy techniques were applied for identification of heavy minerals (i.e, Tröger, 1979), with minor adaptations related to the greater grain thickness (Mange & Maurer, 1992). Counting was performed using the “ribbon counting method” (Galehouse, 1971). Two counting steps were conducted: in the first step, the entire mineral assembly was identified and counted, while in the second step, only pairs of minerals regarded as indices for provenance, transport and chemical alteration by weathering (Morton; Hallsworth, 1994) were counted, selected based on their presence identified during the first counting stage.

For the frequency distribution of grain size analysis, statistical parameters of the first three moments of Pearson (mean diameter, standard deviation, skewness) were calculated. These parameters will be used to creation of interpolation maps on the grain size of the samples using Sturges' Rule. Among the existing formulas for calculating the number of classes based on the number of data points (N), the most effective and popular is Sturges' Rule (Haan, 1977; Wellmer, 1998), an empirical method that classifies a data set representing a sample or population. According to these authors, the number of classes (Nc) can be calculated as follows:

$$N_c = 1 + 3.322 \log N \quad (1)$$

This calculation yielded a result of 9 classes to be distributed and interpolated.

The variations in these parameters were evaluated by regression and used to infer the predominant direction of sediment transport, according to the McLaren and Bowles (1985) rule. This rule outlines two patterns that indicate the direction of transport within a sedimentary system:

- i) 'finer / better sorted / more negative' (Case B);
- ii) 'coarser / better sorted / more positive' (Case C).

When none of these patterns are identified, it is not possible to certainly determine the direction of effective sediment transport. For a one-dimensional analysis, the correlation between the Pearson's moment data was analysed using scatter plots of the particle size frequency distributions. To assess the results of the linear correlation coefficient (r), the criterion used was the significance level or error I (p), which represents the probability of rejecting a true null hypothesis (H_0). In this case, H_0 indicates the absence of a significant correlation ($r \approx 0$), and p can be regarded as the probability of accepting a non-existent correlation. The estimation of the maximum values for p was done by interpolation, comparing the t-ratio from the one-tailed regression test (Student's t-distribution).

For samples distributed in two-dimensional space, an additional concept of a transport vector network introduced by Gao and Collins (1992) was added, along with the McLaren and Bowles' rule. In this application, each sampled point was individually compared to all its neighbours at a distance specified by the user. Based on these principles, the present study calculated the transport direction using the free program Grain Size Trend Analysis with Significant Test (GSTAST) developed by Chang et al. (2001). This program applies the general McLaren and Bowles' rule while incorporating the concept of a transport vector network, with the advantage of performing a significance test on the data. Within this framework, the first three moments of Pearson of each sampled station were used to define vectors in relation to a specific number of neighbouring stations. The "neighbouring station" is defined by the user as a characteristic distance (DCR) that defines the radius of influence of factors determining local transport direction. The direction of each resulting vector depends on the relative positions (UTM coordinates) between neighbouring stations that exhibit a variation pattern accepted by the rule of transport. Each transport vector (L) accepted by the rule, which extends from a given station toward the neighbouring station, is assigned a "length" with a value of one (1), making it dimensionless. For stations with multiple vectors, L will be calculated as the resultant vector, possessing a direction and scalar value determined by vector summation.

In the next step, the original values of the grain size parameters for each station are randomly exchanged among themselves for a user-defined number of times (iterations). Chang et al. (2001) concluded that, when testing the statistical effect of the number of iterations, for confidence intervals above 50%, the number of residual vectors accepted by the test remains constant after 100 iterations. Then this number is recommended, even though the GSTAST program allows for up to 10,000 iterations.

The same procedure used to calculate vectors with the original ("true") data from each station is used to the stations with exchanged data generated by the iterations. Subsequently, all

obtained vectors (including those calculated with the “true” data) are grouped by station into frequency distributions. The next step, applied to the entire frequency distribution of vectors, is to calculate the critical value of vector length (LX) at a one-tailed confidence interval using Student's t-test, a value defined by the user.

Finally, for each sampled station, the length vector L generated from the original data is compared with its corresponding critical value (LX), which is obtained from the frequency distribution of length vectors calculated using all data sets. Each L vector will be accepted when its dimensionless value is greater than the value of its corresponding LX vector (Chang et al., 2001). Additionally, the result of L will be more consistent the greater its dimensionless value.

6 RESULTS AND DISCUSSION

6.1 Grain size

Altogether, in average, the sandy samples of the ETF of Icapuí are very fine (3.31 phi) (Wentworth, 1922), moderately well sorted (0.68 phi), and strongly coarse skewed (-2.98 phi) (Folk, 1968) (Figure 4). When analysed separately, the samples from the beach adjacent to the ETF are coarser (fine sand, 2.68 phi), worst sorted (moderately sorted, 0.98 phi), and less negatively skewed (keeping a strongly coarse skewed pattern, -1.21 phi). Assuming the beach as part of the ETF and, therefore, integrated to the same transport system, the grain size patterns indicate an overall transport seaward by the Case B of MacLaren and Bowles (1985), with sediments being actively transported downstream.

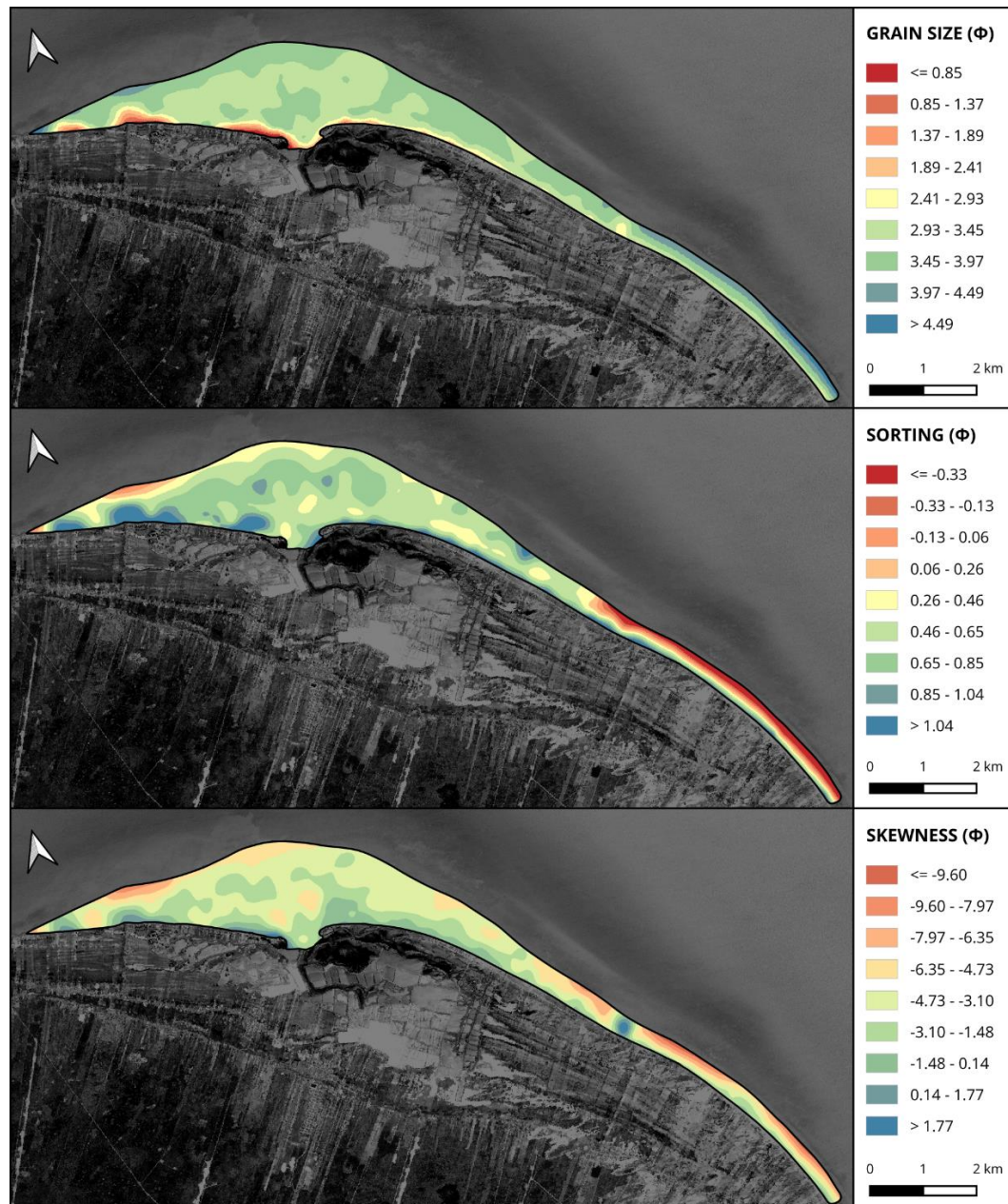


Figure 4 - Interpolation maps for grain size mean diameter, standard-deviation, and skewness of the ETF of Icapuí.

The Pearson correlation of the variables is very high in all cases ($p < 0.005$), being negative between mean diameter and the other variables, and positive between standard-deviation and skewness (Figure 5).

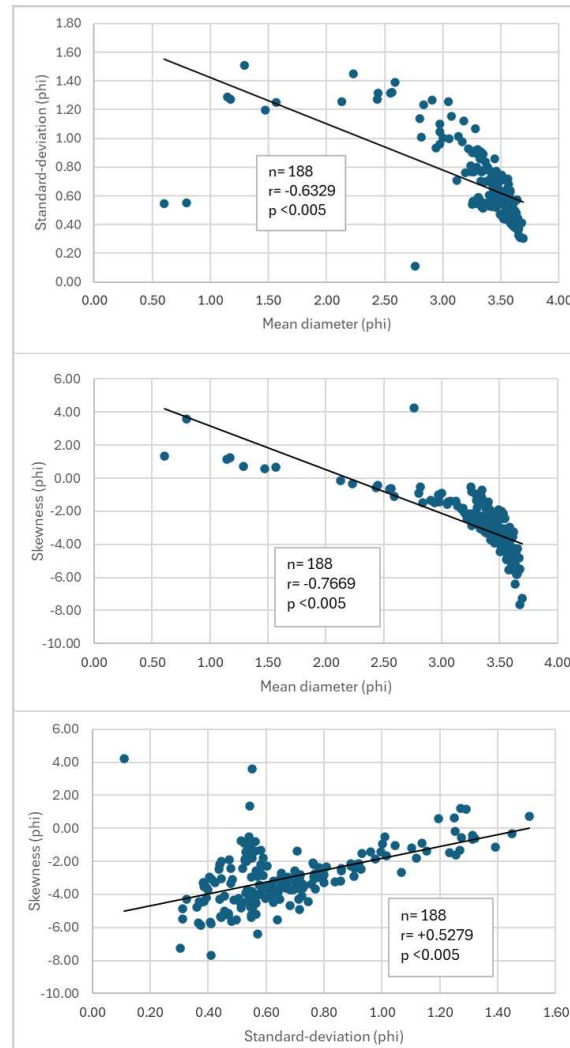


Figure 5 - Scatterplot for grain size correlating mean diameter, standard-deviation, and skewness of the ETF of Icapuí (chance to accept a null hypothesis). Symbols n, r and p refer, respectively, to number of samples, correlation coefficient, and significance level (one-tailed regression test t of Student).

6.2 Heavy minerals along the beach

The heavy minerals content of the beach sands adjacent to the external tidal flat at Icapuí is low, with an average of about 0.04% in weight. It is worth to note that the content of heavy minerals increases in the beach sands both sides around the mouth of the inlet, therefore suggesting they were mainly delivered by the inlet instead of merely concentrated there, for example, by the blockage of marine transport (Figure 6).

After concentrated, over 6,500 heavy mineral grains were identified and counted on 17 slides, from which approximately 11% consisting of opaque grains after the magnetic

separation. Among the transparent grains, a low content of unidentified, chemically altered minerals, was also observed, referred to as alterite (Van Andel, 1958), with an average occurrence frequency of around 5.9%. The identified transparent non-micaceous heavy minerals, in descending order of average abundance, were: green hornblende (46.9%), zircon (7.5%), clinozoisite (6.3%), sillimanite (5.7%), epidote (5.2%), staurolite (5.0%), tremolite (2.4%), garnet (2.3%), monazite (1.7%), tourmaline (1.6%), colorless clinopyroxene (1.1%) and kyanite (1.0%). In smaller amounts (<1% in average), the following trace minerals were also identified: andalusite, rutile, and titanite (Figure 7). The identified transparent heavy minerals largely correspond to the assemblage described by previous studies (Maia and Souza, 2018; Salomão, 2018; Pinheiros and Medeiros, 2021; Silveira, 2022) in the beach and strandplain sands of Icapuí.

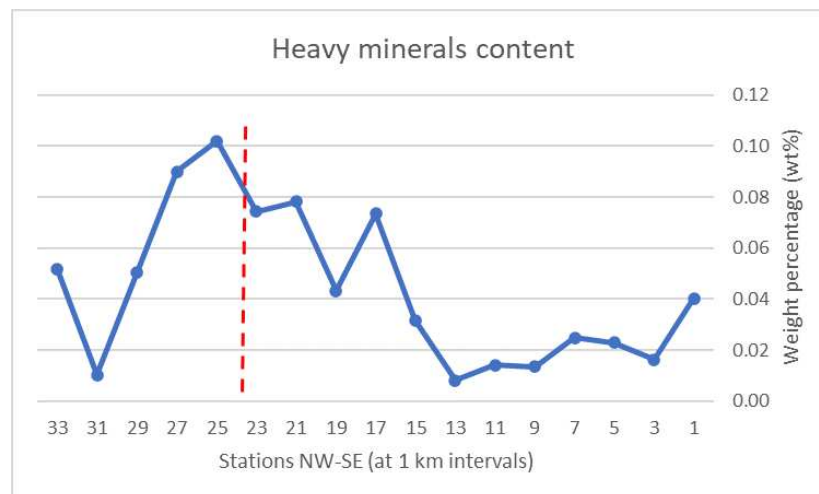


Figure 6 - Variation of heavy minerals content of the beach sands adjacent to the external tidal flat of Icapuí. The red dotted line indicates the location of the inlet mouth between the stations 25 and 23.

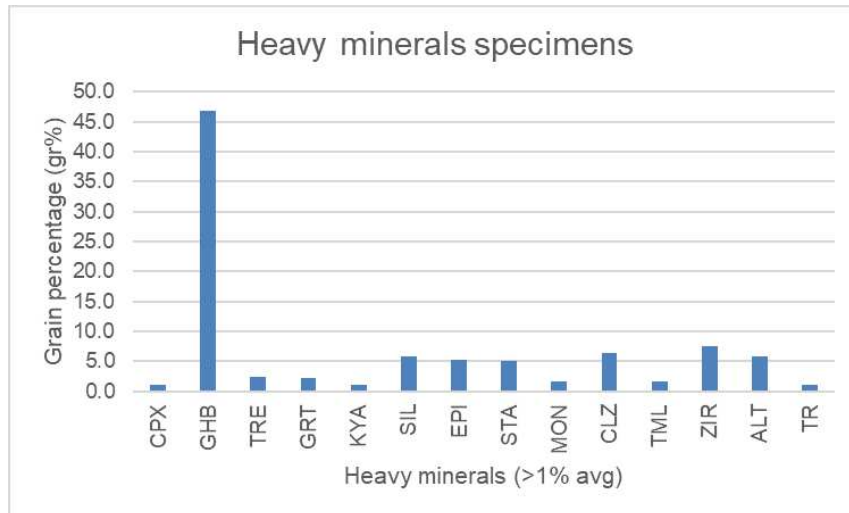


Figure 7 - Average counting frequency of the most abundant heavy minerals of beach sands adjacent to the ETF of Icapuí. Abbreviations: CPX – colorless clinopyroxene; GHB - green hornblende; TRE – tremolite; GRT – garnet; KYA – kyanite; SIL – sillimanite; EPI – epidote; STA – staurolite; MON – monazite; CLZ – clinozoisite; TML – tourmaline; ZIR – zircon; ALT – alterite; TR – all traces summed.

6.3 Provenance, transport, and chemical alteration indices along the beach

Based on the detrital heavy mineral assemblage found in the beach sands, pairs were selected to obtain indices for provenance, transport, and chemical alteration according to the Morton and Hallsworth (1994) precepts. Only minerals occurring at least once in each sample were elected. The chosen indices were the same as Silveira (2022), who worked in the vicinities of the ETF (strandplain) and also had a similar result for the overall heavy minerals assemblage. The indices were: 1. Garnet-zircon (GZi) for provenance, due the similar relative densities and shape ($>4 \text{ g/cm}^3$, and equidimensional because most of zircon grains at Icapuí are broken and rounded) but potentially distinct primary sources (metamorphic and igneous). In terms of chemical alteration, although garnet is more susceptible, its selection was based on the absence of another ultra-stable mineral to pair with zircon along with the (probable) limited weathering effects in young deposits. 2. Sillimanite-garnet (SGi) for transport, because they likely came from a similar primary source (Mange and Maurer, 1992) and are both considered metastable (Pettijohn et al., 1987), but they differ in density and shape (sillimanite would be preferentially transported due its less density and more elongated shape) (Morton and Hallsworth, 1994). 3. Tourmaline-green hornblende (THi) for chemical alteration, because they have similar relative

density, shape, and potentially the same primary source, but differ in their susceptibility to chemical alteration processes pre- and post-deposition (weathering and/or diagenesis).

The results show that the transport index SGi, with an average of 70%, increases in the SE direction, that, for this reason, would be the prevailing route for the sedimentary transport alongshore. Despite the oscillating values, this index has an almost mirror-like relationship with the provenance index GZi, which has an average of 24.3%. This is partially explained by a shared mineral, but it also suggests that the immediate provenance, from a secondary (sedimentary) source, is influenced by the same transport factors. For its turn, the chemical alteration index THi has very low values (average of 3.3%) with almost no variation. Also considering a low alterite content, this scenario indicates that recent weathering effects are likely minimal (Figure 8).

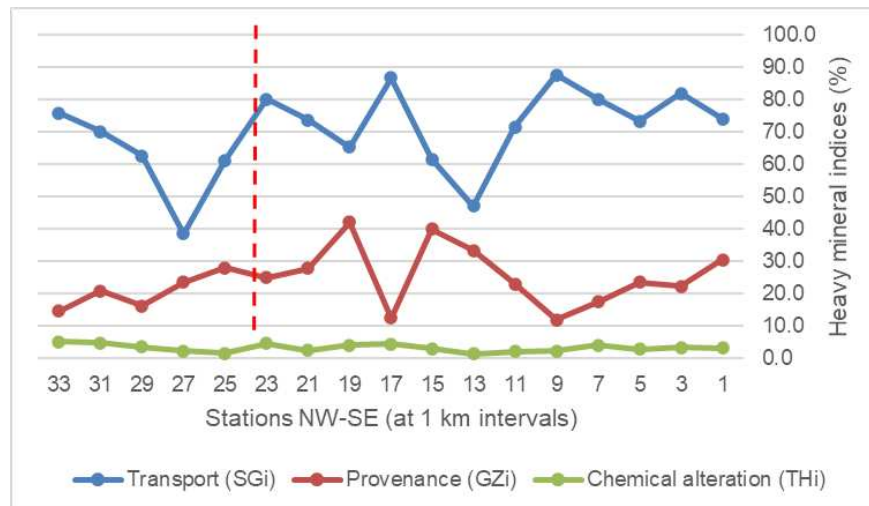


Figure 8 - Variation in heavy mineral indices for transport (sillimanite-garnet), provenance (garnet-zircon) and chemical alteration (tourmaline-green hornblende) along the beach adjacent to the ETF of Icapuí. The red dotted line indicates the location of the inlet mouth between the stations 25 and 23.

6.4 The one-dimensional transport along the beach

In a one-dimensional analysis along the beach adjacent to the ETF of Icapuí, the McLaren and Bowles (1985) rule indicates a transport in the SE direction along the coastline. This result is in agreement with the transport index SGi, calculated by the proportion of sillimanite and garnet amongst the heavy minerals in the beach sands (Figure 6). However, this

transport pattern occurs under two different cases of the rule around the inlet, being the Case C for the NW stretch, and Case B for the SE stretch.

Once the NW stretch is downstream both the inlet and the regional longshore drift current, this means that a very local pattern of transport would act there, like a flood tide current and/or a recirculation of the longshore drift soon after the inlet. Nonetheless, the Pearson correlation is relatively weak ($p > 0.05$) for all the grain size parameters there. For its turn, the SE stretch has the stronger Pearson correlation ($p < 0.005$) in all the grain size parameters. As the SE stretch is upstream the inlet, the result indicates an active transport against the regional longshore drift, strongly related to an ebb tide current (Figure 9).

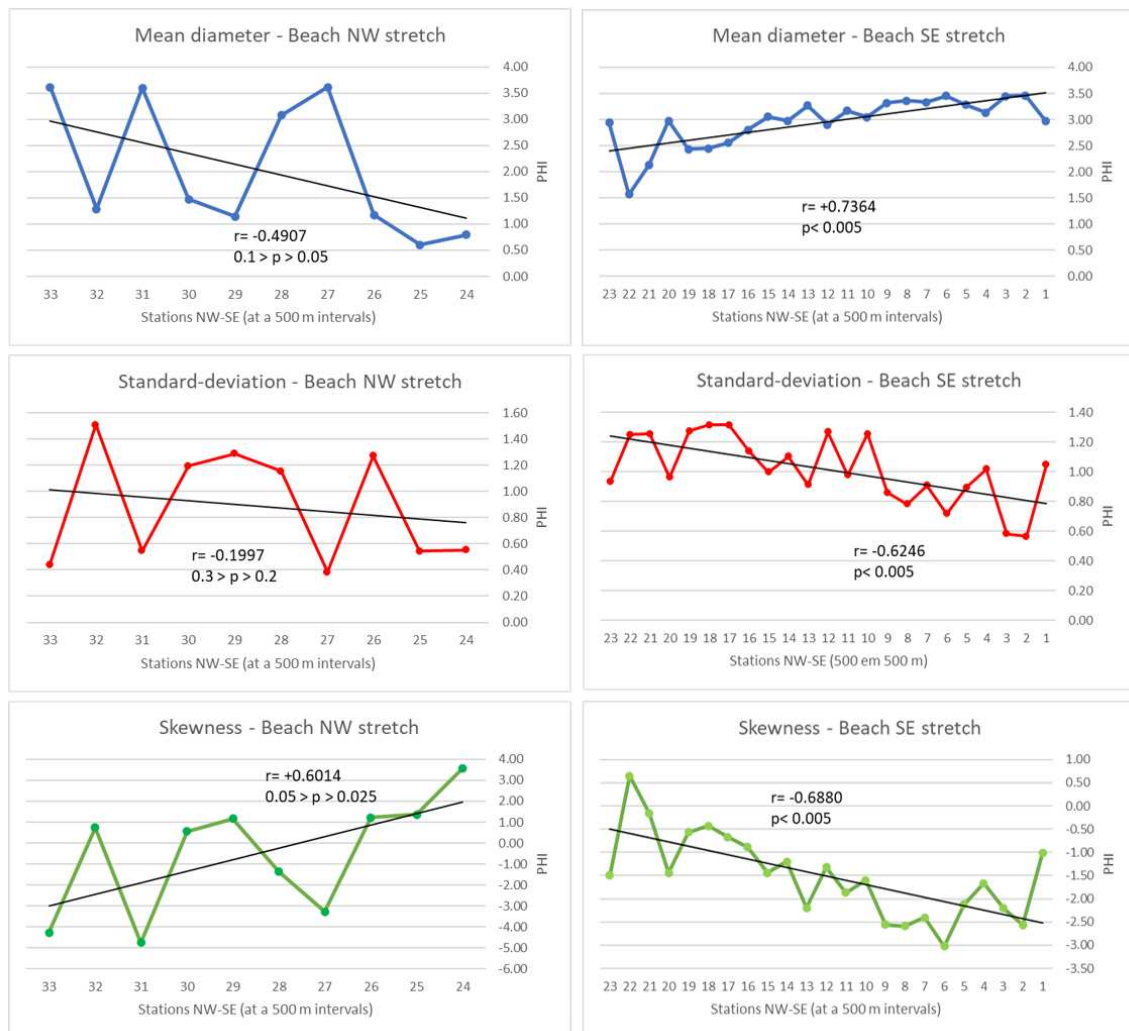


Figure 9 - Pearson correlation for mean diameter, standard-deviation and skewness of beach samples at NW and SE of the inlet mouth, ETF of Icapuí.

6.5 The two-dimensional transport along the ETF

Based on the statistic parameters of the first three moments of Pearson in each station of the ETF, including the adjacent beach, the rule for transport of MacLaren and Bowles (1985) was applied in a two-dimensional approach with a significant test by using the program GSTAST (Chang et al., 2001). In this work, the input data for the program included a characteristic distance of 400 m, and significant test under 10,000 iterations at a confidence level of 95%.

As a result, 26 vectors (~14%) were accepted, dominated by the Case B of the rule for transport (finer, better sorted, more negative), with a general average direction pointing ESE (120° AZ, $L_{95} = 0.91$). However, individually, the resulting vectors present differences both in direction and significance. For instance, the more significant vectors (average of $L_{95} = 1.19$) are those pointing NNE and they are also the majority ($n=9$). Most of the remaining vectors are in agreement with the general result ESE, with some vectors also striking NNW.

Intriguingly, the general average direction ESE must be due the effect of ebb tide currents running oppositely the expected longshore drift sense; indeed, some of it include vectors as far as 10 km from the inlet. Nevertheless, the most significant vectors NNE would be also resulting from ebb currents, despite more directly delivered by the internal tidal flat to its external counterpart. Only few and less significant vectors NNW would be resulting from longshore currents, as they are in agreement with the regional expected behavior of it (Figure 10).



Figure 10 - The 26 vectors accepted by the GSTAST after the iterations.

When analysed together and taking the bedforms into account, the accepted vectors provide clues for local patterns of circulation of currents; in this sense, the Figure 11 below propose a model for this. There, the dominance of the ebb currents (central red arrows) “pushes” the longshore drift currents (white arrows) outside, seaward the ETF, then running around its contours. This would be in agreement with images taken during very low, spring ebb tides: a plume of sediments delivered by the central subtidal channel of the ETF to beyond its boundaries can be seen turning strongly NW and spreading it. This configuration would also favour a local, counterclockwise circulation (purple arrows) of currents derived from part of the longshore current after divided by the algae bank and then blocked by the ebb discharge (“groine effect”) (Dominguez, 1990). Finally, soon NW from the inlet and close to the shore, the initial ebb currents (high stage) would create the sandwaves frequently seen migrating in the same sense there (west red arrows along the shore). Right after, terminal ebb currents (low stage) turn NE, now channelised between the crests of the sandwaves as the water level falls below it.

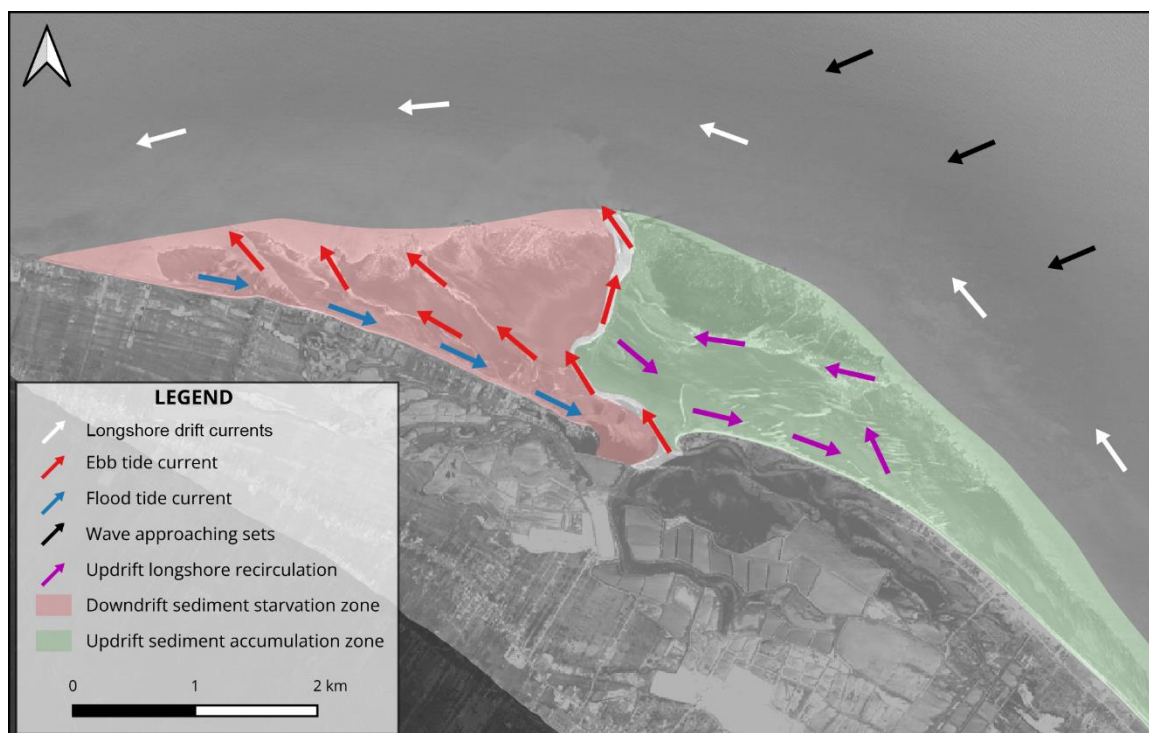


Figure 11 - Model for local transport and circulation. The black arrows represent oceanic waves, producing longshore drift currents (white arrows) as they interact with the coastal relief. The central red arrows depict the general ebb tide transport of the ETF in front of its inlet. The purple arrows represent a local circulation confined between the algae bank and the

subtidal extension of the inlet. For its turn, the west red arrows depict a local ebb tide current during high (parallel to the shore) and low (perpendicular) stages.

7 CONCLUSIONS

The grain size and heavy minerals analyses, along with the relief features observed through remote sensing, demonstrate that the ETF of Icapuí is governed by transport of ebb tide currents. Despite it seems to be obvious in principle, the analyses and results are relevant due the peculiar situation of the ETF, developed in a place with very low sedimentary supply and under a relatively strong longshore drift current. Even more relevant is considering that the ETF bears other internal elements, i.e., subtidal channels, subaqueous bedforms etc., all limited by the ETF contours, who is remarked by its elevated plateau over the marine substrate around. Thus, this work represents the first scientific study to effectively and comprehensively demonstrate that it is an ebb-tidal delta.

By comparison, the three major rivers in the Ceará State - Coreaú, Acaraú, and Jaguaribe -, even with a presumably higher sedimentary supply than the Icapuí inlet, beyond more embayed, they usually have small, irregular and intermittent ebb tidal deltas.

A possible explanation for an ebb-tidal delta with characteristics like those of Icapuí could be a local reduction in accommodation space over time, driven by tectonic uplift, as suggested by Silva Filho (2004). This would account for the presence of a large outer tidal flat, even with negligible sediment discharge from the inlet channel.

The strandplain at rear the ebb tidal delta of Icapuí was witnessed the nowadays lagoonal system for some time, then making possible that variables like variation of the relative sea-level, climate change, and tectonics are among the factors that, either alone or together, could explain a reduction in the local accommodation space. However, such hypotheses should be further evaluated in future research.

Acknowledgements

The authors are very grateful to thank Anna Sabrina Vidal and Antônio Daniel Silveira for their assistance during the field campaign. The Laboratory of Marine and Applied Geology and the Laboratory of Geotechnics are thanked for providing the facilities needed for this research, and the Postgraduate Program in Geology of UFC for encouraging this work. In

particular, the author would like to thank the Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) for her masters' fellowship.

REFERENCES

- AUBREY, D.G.; SPEER, P.E. 1985. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems Part I: Observations. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 21, n. 2, p. 185-205, 1985.
- BARROS, E. L. 2018. Erosão costeira no litoral do município de Icapuí-CE na última década: causas, consequências e perspectivas futuras. 254 f.: Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BARROS, E. L. 2014. Caracterização Faciológica da Plataforma Continental Interna de Icapuí, Ceará. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BOYD, R.; DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A. 2001. Estuarine and incised-valley facies models. In: POSAMENTIER, H.W. & WALKER, R.G. **Facies models revisited**, 2006, p.171-235.
- BUB, F. L. & W. S. BROWN, 1996. Intermediate Layer Water Masses in the Western. Chang, Y. H., Scrimshaw, M. D., Lester, J. N. (2001). A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers & Geosciences**, 27(1), 109-114.
- DALRYMPLE, R.W. Tidal depositional systems. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. Facies models: response to sea level change. **Geological Association of Canada**, 1992, 407 p.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Acesso em outubro de 2024.
- DOMINGUEZ, J.M.L. Deltas dominados por ondas: críticas às ideias atuais com referência particular ao modelo de Coleman & Wright. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 352-361, 1990.

ELIAS, E.P.L. Updrift Barrier Inlet Dynamics. Phd. Study of Edwin Elias. Faculty of Civil Engineering and Geosciences.

FERNANDES, L. R., DUARTE, C. R., SOUTO, M. V. S., AMARO, V. E. 2015. Análise temporal em curto tempo das barras arenosas na praia de Ponta Grossa, região costeira de Icapuí/CE. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa. Anais. João Pessoa, p. 5356-5362.

FITZGERALD, D.M. 1984. Interactions between the Ebb-Tidal Delta and Landward Shoreline: Price Inlet, South Carolina. **Jornal of Sedimentary Petrology**. Vol. 54, Nº 4.

FOLK, R. L. 1968. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin: Hemphill Publishing Co., 170 p.

FUNCEME. 2011. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Acesso em dezembro de 2011.

GALEHOUSE, S. S. Point counting. In: CARVER R.E. 1971. Procedures in Sedimentary Petrology. **New York: Wiley-Interscience**, p. 385-407.

GAO, S.; COLLINS, M. 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of “transport vectors”. **Sedimentary Geology**, v.81, n. 1-2, p. 47-60.

HAAN, C.T. 1977. Statistical methods in hydrology. Ames, The Iowa State University Press. 378p.

HUBBARD, D.K. 1975. Morphology and hydrodynamics of the Merrimack River ebb-tidal delta, in Cronin, L.E., ed., **Estuary Research: New York, Academic Press**, p. 253–266.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N. 1998. Annual cycle and variability of the north brazil current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, p. 103 - 128.

MAIA, G. A. M.; SOUZA, I. C. O. 2018. Canal de maré do porto da Barra Grande, Icapuí – CE: evolução e dados hidrossedimentológicos. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Relatório de Graduação (inéd.), 86 p.

MAIA, L. P. 1998. Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE – Brasil): implicaciones para uma gestión adecuada de la zona litoral. Tese (Doutorado em Ciencias del mar) - Universidade de Barcelona, Barcelona, p. 269.

MANGE, M. A.; MAURER, H. F. W. 1992. **Heavy minerals in colour**. London: Chapman & Hall, p. 147.

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

MEIRELES, A. J. A. 1991. Mapeamento Geológico-geomorfológico do Quaternário Costeiro de Icapuí–Extremo leste do estado do Ceará. 1991. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 182 p.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEBE, A. e THIERS, P.R.L. 2005. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, v. 8, p. 109-134.

MEIRELES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S.; THIERS, P. R. L. 1987. Aspectos geodinâmicos do delta de maré da planície costeira de Icapuí/CE. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p. 367-382.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. 2012. **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão.

MONTEIRO NETO, C., De Andrade Cunha, F. E., Carvalho Nottingham, M., Araújo, M. E., Lucena Rosa, I., & Leite Barros, G. M. (2003). Analysis of the marine ornamental fish trade at Ceará State, northeast Brazil. **Biodiversity and Conservation**, 12(6), 1287-1295.

MORAIS, J. O. Evolução Sedimentar da Enseada do Mucuri. **Arq. Cien. Mar.** Fortaleza 21 (1/2): 20-32. 1981.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. R. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v. 90, n. 3-4, p. 241-256, 1994.

MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro. **Brasília: MMA**, 2006, 476 p.

OERTEL, G.F. Ebb-tidal deltas of Georgia estuaries, in Cronin, L.E., ed., **Estuarine Research**, Vol II: New York, Geology and Engineering, Academic Press Inc., 1975, p. 267–276.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. 2nd Ed. New York: Springer-Verlag, 553p.

PINHEIRO, J. D. A.; MEDEIROS, M. E. M. 2021. Sedimentologia e evolução da planície de maré de Icapuí - CE. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 132 p.

PINHEIRO, L.S, MORAIS, J.O. de, MAIA, L.P. 2016. The Beaches of Ceará, In: Brazilian Beach Systems Volume 17 of the series **Coastal Research Library**; pp 175-199 DOI. 10.1007/978-3-319-30394-9_7 Springer International Publishing

READING, H.G. 1978. Sedimentary environments and facies. **Blackwell Scientific Publications**, 557p.

REINSON, G.E. 1992. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: Walker, R.G.; James, N.P. (Eds.). Facies models: responses to sea level change. **Geological Association of Canada**, p.1-14.

SALOMÃO, R. C. B. 2018. Análise faciológica da planície de maré de Icapuí (CE). Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 95 p.

- SILVA FILHO, W. F. 2004. Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará. Tese de Doutorado. Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.
- SILVA NETO, C.A. 2019. Avaliação da influência de canais de maré na dinâmica costeira em Icapuí (CE) através de Sensores Remotos Óticos. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 66 p.
- SILVA, J.A. 2012. Manguezal do estuário Barra Grande em Icapuí-CE: da degradação ao processo de recuperação e mudança de atitude. Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- SILVEIRA, A.D.S. 2022. Fatores controladores da assembleia de minerais pesados nas areias da planície costeira de Icapuí. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 55 p.
- SOUSA, D.C.; JARDIM DE SÁ, E.F.; VITAL, H.; NASCIMENTO, M.A.L. 2008. Falésias na Praia de Ponta Grossa, Icapuí, CE - Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.
- SOUZA, W.F. 2016. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaço temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará - Brasil. 134 f. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- SUGUIO, K. 1992. **Dicionário de Geologia Marinha**. T.A. Queiroz, 171p.
- TRÖGER, W. E. 1979. **Optical determination of rock-forming minerals, part 1: determination tables**. Stuttgart, 188p.
- WELLMER, F.W. 1998. **Statistical evaluations in exploration for mineral deposits**. Heidelberg, Springer. 379p.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, Iowa, v. 30, n.5, p. 377–392.

XIMENES, D. R. B.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. 2013. Análise multitemporal da linha de costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu, p. 1618-1625.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, as análises de granulometria e de minerais pesados, juntamente com as características do relevo observadas por sensoriamento remoto, demonstram que a planície de maré externa de Icapuí é dominada pelo transporte por correntes de maré vazante, ainda que sem desconsiderar os efeitos secundários da maré enchente, ondas, deriva litorânea e sua recirculação. Embora essa conclusão possa parecer óbvia à primeira vista, as análises e os resultados são relevantes devido à situação peculiar da região, por ser uma área com baixa disponibilidade sedimentar e sob uma corrente de deriva litorânea relativamente intensa. Ainda mais relevante é considerar que a planície de maré contém outros elementos internos, como canais inframarés e formas de leito subaquáticas, todos limitados pelos contornos da própria planície, que se destaca pelo seu platô elevado sobre o substrato marinho ao redor, ocupando uma área maior do que a de seu próprio sistema lagunar alimentador. Dessa forma, este trabalho é o primeiro estudo científico que demonstra com detalhes e efetividade que a planície de maré externa de Icapuí pode ser classificada como um delta de maré vazante, ainda que em um contexto incomum.

O platô subaquático da planície de maré externa de Icapuí conecta-se diretamente com a costa em ambos os lados da desembocadura de maré principal por até 10 km e se estende para o mar por até 3 km, formando um leque convexo que permanece exposto durante as marés baixas de sizígia e pode, assim, ser considerado um dos maiores deltas de maré vazante do Estado do Ceará. Em comparação, os três principais rios do Ceará – Coreaú, Acaraú e Jaguaribe – mesmo com uma descarga sedimentar presumivelmente maior do que na desembocadura de maré de Icapuí e sendo mais recuados em suas embocaduras, geralmente possuem deltas de maré vazante menores, mais irregulares e intermitentes.

Um possível fenômeno facilitador da formação de um delta de maré vazante com as características do de Icapuí seria através de uma redução local do espaço para acomodação de sedimentos na zona costeira ao longo do tempo. Isso poderia facilitar seu preenchimento pelo aporte sedimentar, ainda que este seja pequeno. A planície costeira à retaguarda do delta de maré vazante de Icapuí pode ter abrigado o atual sistema lagunar por um período relativamente longo e com área mais extensa, tornando possível que variáveis como variação do nível relativo do mar, mudanças climáticas e tectonismo estejam entre os fatores que, isoladamente ou em conjunto, possam explicar uma redução no espaço de acomodação local. No entanto, essas hipóteses devem ser melhor avaliadas em pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

- ANGELIM, L. A. de A; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Programa Geologia do Brasil (PGB). Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Escala. 1 500.000. 2006.
- ANGULO, R.J. & GIANNINI, P.C.F. Variação do nível relativo do mar nos últimos dois mil anos na região sul do Brasil: uma discussão. **Boletim Paranaense de Geociências**, 44: 67 - 75. 1996.
- ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F.; KOGUT, J.S.; PRAZERES FILHO, H.J.; SOUZA, M.C. Variation of sedimentological parameters with depositional age across a succession of beach-ridges in the Holocene of Mel Island, Paraná, Brazil. In: **Intern. Sediment. Congress**, 14, Recife, 1994. Abstracts... Recife, IAS, p. D1-D3. 1994.
- AUBREY, D.G.; SPEER, P.E. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems Part I: Observations. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 21, n. 2, p. 185-205, 1985.
- BARROS, E. L. **Erosão costeira no litoral do município de Icapuí-CE na última década: causas, consequências e perspectivas futuras**. 2018. 254 f.: Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- BARROS, Eduardo Lacerda. **Caracterização Faciológica da Plataforma Continental Interna de Icapuí, Ceará**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BIGGS, R.B. Coastal bays. In: DAVIS, R.A., Jr. (ed.). **Coastal Sedimentary Environments**. Springer- Verlag, Heidelberg, 413 p., 1978.
- BOYD, R.; DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A. Estuarine and incised-valley facies models. In: POSAMENTIER, H.W. & WALKER, R.G. **Facies models revisited**, p. 171- 235, 2006.
- BRANCO, P. M. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia**. 2th ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014.
- BUB, F. L. & W. S. BROWN. Intermediate Layer Water Masses in the Western Chang, Y. H., Scrimshaw, M. D., Lester, J. N. (2001). A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers & Geosciences**, 27(1), 109-114, 1996.
- CHANG, Y. H.; SCRIMSHAW, M. D.; LESTER, J. N. A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers & Geosciences**, v. 27, n. 1, p. 109- 114, 2001.
- COOPER, J.A.G. The role of extreme floods in estuary-coastal behaviour: contrasts between river-and tide dominated microtidal estuaries. **Sedimentary Geology** (ISSN: 0037-0738). 150: 123-137, 2002.

DALRYMPLE, R.W. Tidal depositional systems. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. Facies models: response to sea level change. **Geological Association of Canada**, 407 p., 1992.

DANDOLINI, Marlene. **Marés**. Disponível em: <https://planetario.ufsc.br/mares/> Acesso em: 17 ago. 2024.

DE FREITAS P. P. **Modelagem Hidrodinâmica da Circulação sobre a plataforma continental do Ceará – Brasil**. 97f. Dissertação (mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

DE MIO, E. & GIANNINI, P.C.F. Variação de minerais pesados transversal à planície litorânea de Peruíbe-Itanhaém, SP. In: CONG. ASSOC. BRAS. ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6, Curitiba. Resumos expandidos... Curitiba, **ABEQUA**, p. 109-114, 1997.

DHN. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**. Acesso em outubro de 2024.

DINIZ, M.T.M.; ARAÚJO, I.G.D.; CHAGAS, M.D. Comparative study of quantitative assessment of the geomorphological heritage of the coastal zone of Icapuí - Ceará, Brazil. **International Journal of Geoheritage and Parks**, 10, p. 124-142, 2022.

DOMINGUEZ, J.M.L. Deltas dominados por ondas: críticas às ideias atuais com referência particular ao modelo de Coleman & Wright. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 352-361, 1990.

ELIAS, E.P.L. **Updrift Barrier Inlet Dynamics**. Phd. Study of Edwin Elias. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, 2001.

ESTEVES, S. L. **Estado-da-arte dos métodos de mapeamento da linha de costa**. Instituto de Geociências, UFRS, 2003.

FERNANDES, L. R., DUARTE, C. R., SOUTO, M. V. S., AMARO, V. E. Análise temporal em curto tempo das barras arenosas na praia de Ponta Grossa, região costeira de Icapuí/CE. In: **XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa, p. 5356-5362, 2015.

FITZGERALD, D.M. Interactions between the Ebb-Tidal Delta and Landward Shoreline: Price Inlet, South Carolina. **Jornal of Sedimentary Petrology**. Vol. 54, Nº 4, 1984.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks**. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 170p., 1968.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Acesso em outubro de 2024.

GALEHOUSE, S. S. Point counting. In: CARVER R.E. (Org.). **Procedures in Sedimentary Petrology**. New York: Wiley-Interscience, p. 385-407, 1971.

GAO, S., COLLINS, M. Net sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of transport vectors. **Sedimentary Geology**, 81(1-2), p. 47-60, 1992. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90055-V](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90055-V)

GIANNINI, P.C.F. & SUGUIO, K. Diferenciação entre gerações de depósitos eólicos quaternários na costa centro-sul de Santa Catarina. In: **CONG. BRÁS. DE GEOLOGIA**, 38, Balneário Camboriú, SC. Resumos expandidos... Balneário Camboriú, SBG, p. 402-403, 1994.

GIANNINI, P.C.F. **Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP)**. São Paulo, Inst. De Geociências da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado (inéd.), 2v., 3 mapas, 234p., 1987.

GIANNINI, P.C.F. **Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC**. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Tese de doutoramento (inéd.), 2 v., 2 mapas, 439 p., 1993.

GIANNINI, P.C.F.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; KOGUT, J.S.; DELAI, M.S. A erosão na costa leste da ilha do Mel, baía de Paranaguá, estado do Paraná: modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. São Paulo, **Revista Brás. De Geociências**, 34(2): 231-242, 2004.

GIANNINI, P.C.F.; LESSA, G.C.; KOGUT, J.S.; ANGULO, R.J. Variação nas assembleias de minerais pesados de testemunhos rasos na planície costeira de Paranaguá (PR). In: **CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO**, 6, Curitiba. Resumos expandidos... Curitiba, ABEQUA, p. 58-62, 1997.

GUEDES, C.C.F. **Evolução sedimentar quaternária da Ilha Comprida, Estado de São Paulo**. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Dissertação de Mestrado (inéd.), 147 p., 2009.

HAAN, C.T. **Statistical methods in hydrology**. Ames, The Iowa State University Press. 378p., 1977.

HINE, A.C. Bedform distribution and migration patterns on tidal deltas in the Chatham Harbor estuary, Cape Cod, Massachusetts. In: Vol. II (Ed. by L.E. Cronin), **Academic Press**, London, pp. 235-252, 1975.

HOYT, J.H.; HENRY, Y.J. Influence of island migration on barrier island sedimentation, **Bull. Geol. Soc. Am.**, 78, p. 77-86, 1967.

HUBBARD, D.K. Morphology and hydrodynamics of the Merrimack River ebb-tidal delta, in Cronin, L.E., ed., **Estuary Research**. New York: Academic Press, p. 253-266, 1975.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará**. Perfil Básico Municipal. Fortaleza: IPECE, 2016.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N. Annual cycle and variability of the north brazil current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, p. 103-128, 1998.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F.; ARAÚJO, A.D. Morphostratigraphy and evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology**, 165: 87-108, 2000.

MAIA, G. A. M.; SOUZA, I. C. O. **Canal de maré do porto da Barra Grande, Icapuí – CE: evolução e dados hidrossedimentológicos**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Relatório de Graduação (inéd.), 86 p., Anexos, 2018.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE – Brasil): implicaciones para uma gestión adecuada de la zona litoral**. Tese (Doutorado em Ciencias del mar) - Universidade de Barcelona, Barcelona, 269 p., 1998.

MANGE, M. A.; MAURER, H. F. W. **Heavy minerals in colour**. London: Chapman & Hall, 147 p., 1992.

MCLAREN, P., BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, 55(4), p. 457-470, 1985.
<https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D>

MEIRELES, A. J. A. **Mapeamento Geológico-geomorfológico do Quaternário Costeiro de Icapuí–Extremo leste do estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 182 p., 1991.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEBE, A. e THIERS, P.R.L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, v. 8, p. 109-134, 2005.

MEIRELES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S.; THIERS, P. R. L. Aspectos geodinâmicos do delta de maré da planície costeira de Icapuí/CE. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, p. 367-382, 2006.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.) **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG**. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p. 87-165, 2003.

MONTEIRO NETO, C., DE ANDRADE CUNHA, F. E., CARVALHO NOTTINGHAM, M., ARAÚJO, M. E., LUCENA ROSA, I., & LEITE BARROS, G. M. Analysis of the marine ornamental fish trade at Ceará State, northeast Brazil. **Biodiversity and Conservation**, 12(6), 1287-1295, 2003.

MORAIS, J. O. Evolução Sedimentar da Enseada do Mucuri. **Arq. Cien. Mar**. Fortaleza 21 (1/2): p. 20-32, 1981.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. R. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v. 90, n. 3-4, p. 241-256, 1994.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T (eds.). **Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, pp. 191-233, 1996.

MUEHE, D. **O litoral brasileiro e sua compartimentação**. In: Geomorfologia do Brasil. Antônio Guerra e S. B. Cunha (org.), São Paulo, Ed. Bertrand Brasil, 1998.

MUEHE, D. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 476 p., 2006.

MUEHE, D., OLIVEIRA, K.L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial, Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais. In. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 05(2): p. 121-124, 2014.

NASCIMENTO, D.R., JR. **Morfologia e sedimentologia do sistema praia - duna frontal de Ilha Comprida, SP**. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado (inéd.), 156p., 2006.

NASCIMENTO, D.R., Jr. **Evolução sedimentar holocênica do Delta do Rio Tubarão, Estado de Santa Catarina**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Tese de doutorado (inéd.), 277p., 2011.

NASCIMENTO, D.R., JR.; FORNARI, M.; MAZINI, E.B.; GIANNINI, P.C.F.; LEAL-MENEZES, P.M.; AMARAL, P.G.C.; SAWAKUCHI, A.O. O delta do rio Tubarão (SC): influência da variação holocênica do NRM e seu papel no estabelecimento de populações pré-históricas. **Anais do XLIV Congresso Brasil. de Geologia**, Curitiba (PR), p. 1015 (vol. e CD-ROM), 2008.

NASCIMENTO, D.R., JR.; GIANNINI, P.C.F.; TANAKA, A.P.B.; GUEDES, C.C.F. Mudanças morfológicas da extremidade nordeste da Ilha Comprida (SP) nos últimos dois séculos. **Revista Geologia USP Série Científica**, v.8, n.1, p.25-39, 2008.

OERTEL, G.F. **Ebb-tidal deltas of Georgia estuaries**. In: CRONIN, L.E. (Ed.). **Estuarine Research** (Vol II). New York, Geology and Engineering, Academic Press Inc., p. 267-276., 1975.

PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and Sandstone** (2nd ed). New York: Springer-Verlag, 553 p., 1987.

PINHEIRO, J. D. A.; MEDEIROS, M. E. M. **Sedimentologia e evolução da planície de maré de Icapuí - CE**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 132 p., Anexos, 2021.

PINHEIRO, L.S; MORAIS, J.O.; MAIA, L.P. **The beaches of Ceará**. In: READING, H.G. (Ed.). **Brazilian beach systems**. Coastal Research Library, v.17, p.175-199, 2016.

POSAMENTIER, H.W.; WALKER, R.G. **Facies models revisited**. Society for Sedimentary Geology - SEPM, 532p. 2006.

PRITCHARD, D.W. **What is an estuary?** In: LAUFF, G.H. (Ed.). **Estuaries**. A.A.A.S. Publication 83, Washington D.C., p.3-5, 1967.

READING, H.G. **Sedimentary environments and facies**. Blackwell Scientific Publications, 1st ed., 557p., 1978.

READING, H.G. **Sedimentary environments: process, facies and stratigraphy**. Blackwell Publishing, 3rd ed., 704p., 1996.

REDDERING, J.S.V. An inlet sequence produced by migration of a small microtidal inlet against longshore drift: the Keurbooms inlet, South Africa. **Sedimentology**, v.30, p.201-218, 1983.

REINSON, G.E. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: Walker, R.G.; James, N.P. (Eds.). **Facies models: responses to sea level change**. Geological Association of Canada, p.1-14, 1992.

SALOMÃO, R. C. B. **Análise faciológica da planície de maré de Icapuí (CE)**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 95 p., Anexos, 2018.

SHEPARD, EP.; MOORE, D.G. Bays of Central Texas Coast. In: SHEPARD, F.P.; PHLEGER, E.B.; VAN ANDEL, T.H. (Eds.). **Recent sediments, northwest Gulf of Mexico**. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, p.117-152, 1960.

SILVA FILHO, W. F. **Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil. 2004.

SILVA NETO, C.A. **Avaliação da influência de canais de maré na dinâmica costeira em Icapuí (CE) através de Sensores Remotos Óticos**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 66 p., Anexos, 2019.

SILVA NETO, C.A.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; FREIRES, E.V.; SOUSA, W.R.N.; SILVA, M.T. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.1, p.143-155, 2020.

SILVA, J.A. **Manguezal do estuário Barra Grande em Icapuí-CE: da degradação ao processo de recuperação e mudança de atitude**. Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2012.

SILVEIRA, A.D.S. **Fatores controladores da assembleia de minerais pesados nas areias da planície costeira de Icapuí**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia. Trabalho de Conclusão de Curso (inéd.), 55 p., Anexos, 2022.

SOUSA, D.C.; JARDIM DE SÁ, E.F.; VITAL, H.; NASCIMENTO, M.A.L. **Falésias na Praia de Ponta Grossa, Icapuí, CE**. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, Brasília: CPRM, v. 2, p. 501-512, 2008.

SOUZA, W.F. **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaço temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará - Brasil**. 2016. 134 f. Dissertação (Mestrado em geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. T.A. Queiroz, 171p., 1992.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares: Propriedades, Gênese, Importância Econômica**. 1th ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1980.

SWIFT, D.J.P. **Coastal sedimentation**. In: STANLEY, D.; SWIFT, D.J.P. (Eds.). **Marine Sediment Transport and Environmental Management**. Wiley, New York, p. 255-310, 1976.

TESSLER, M.G. **Sedimentação atual na região lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado (inéd.), Instit. Geoc. da Univ. de São Paulo, 2 v., 169 p., 1982.

TESSLER, M.G. **Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul paulista, Estado de São Paulo**. São Paulo, Inst. Geociênc. da Univ. de São Paulo. Tese de doutoramento (inéd.), 1 v., 1 mapa, 277p., 1988.

TRÖGER, W. E. **Optical determination of rock-forming minerals, part 1: determination tables**. Stuttgart, 188p., 1979.

UDDEN, J. A. Mechanical composition of clastic sediments. **GSA Bulletin**, Tysons Corner, v. 25, n. 1, p. 655–744, dezembro, 1914.

UDDEN, J. A. The Mechanical Composition of Wind Deposits. **Science, Rock Islande**, Illinois, v. 8, n. 1, p. 838-839, dezembro, 1898.

WELLMER, F.W. **Statistical evaluations in exploration for mineral deposits**. Heidelberg, Springer. 379p., 1998.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, Iowa, v. 30, n.5, p. 377–392, agosto, 1922.

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, 56:93-118, 1984.

WRIGHT, L.D. Sediment transport and deposition at river mouths: A synthesis. **Society America Bulletin**. v. 88, p.857-868, 1977.

XIMENES, D. R. B.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. Análise multitemporal da linha de costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011. In: **XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, p. 1618-1625, 2013.

APÊNDICE A - CONTAGEM BRUTA DOS MINERAIS PESADOS NAS AMOSTRAS ANALISADAS.

Sample code	unstable			metastable											ultrastable									
	CPX	GHB	TRE	GRT	KYA	SIL	FIB	SIL tot	EPI	AND	STA	TIT	MON	CLZ	TML	ZIR	RUT	BIO	ALT	OPA	HM	THM	NMTHM	NMTHM-ALT
Na-01	5	150	10	7	6	18	2	20	13	0	19	0	7	11	5	16	3	68	8	49	417	368	300	292
Na-03	2	146	5	6	0	21	6	27	23	1	15	0	12	7	5	21	2	55	10	45	409	364	309	299
Na-05	7	138	8	8	5	19	3	22	16	4	14	0	6	13	4	26	0	62	13	48	416	368	306	293
Na-07	3	139	9	7	7	23	5	28	9	3	16	0	4	18	6	33	2	71	11	50	444	394	323	312
Na-09	4	127	7	3	0	17	4	21	18	0	11	0	3	19	3	22	1	89	19	41	409	368	279	260
Na-11	6	135	6	6	2	15	0	15	15	5	17	0	10	12	3	20	0	94	12	35	408	373	279	267
Na-13	2	133	8	9	6	8	0	8	10	0	11	0	5	21	2	18	1	99	17	38	396	358	259	242
Na-15	1	132	5	10	0	9	7	16	11	4	14	0	7	17	4	15	0	75	21	44	392	348	273	252
Na-17	1	129	7	2	4	13	0	13	17	3	16	2	0	32	6	14	2	81	12	49	403	354	273	261
Na-19	2	117	9	8	0	11	4	15	18	5	12	2	0	23	5	11	0	86	15	54	397	343	257	242
Na-21	4	115	7	5	0	9	5	14	22	0	10	1	1	19	3	13	0	108	22	46	404	358	250	228
Na-23	3	103	10	3	1	6	6	12	12	4	9	0	3	10	5	9	0	94	31	34	355	321	227	196
Na-25	2	125	9	7	4	7	4	11	11	3	12	2	3	22	2	18	0	82	20	39	383	344	262	242
Na-27	1	129	3	8	6	5	0	5	15	0	13	0	9	20	3	26	3	78	21	41	386	345	267	246
Na-29	1	136	1	6	3	9	1	10	9	2	17	2	5	14	5	31	2	60	19	45	378	333	273	254
Na-31	3	139	4	9	5	15	6	21	16	0	21	5	0	23	7	34	1	69	13	40	431	391	322	309
Na-33	4	145	3	7	2	22	0	22	13	0	14	4	7	19	8	41	3	61	8	46	429	383	322	314
General Average	3,0	131,6	6,5	6,5	3,0	13,4	3,1	16,5	14,6	2,0	14,2	1,1	4,8	17,6	4,5	21,6	1,2	78,4	16,0	43,8	403,4	359,6	281,2	265,2
Maximum	7,0	150,0	10,0	10,0	7,0	23,0	7,0	28,0	23,0	5,0	21,0	5,0	12,0	32,0	8,0	41,0	3,0	108,0	31,0	54,0	444,0	394,0	323,0	314,0
Minimum	1,0	103,0	1,0	2,0	0,0	5,0	0,0	5,0	9,0	0,0	9,0	0,0	0,0	7,0	2,0	9,0	0,0	55,0	8,0	34,0	355,0	321,0	227,0	196,0
Total	51,0	2238,0	111,0	111,0	51,0	227,0	53,0	280,0	248,0	34,0	241,0	18,0	82,0	300,0	76,0	368,0	20,0	1332,0	272,0	744,0	6857,0	6113,0	4781,0	4509,0

Siglas: CPX – Clinopiroxênio; GHB – Hornblenda Verde; TRE – Tremolita; GRT – Granada; KYA – Cianita; SIL – Silimanita; FIB – Fibrolita; EPI – Epidoto; AND – Andaluzita; STA – Estauroilita; MON – Monazita; CLZ – Clinozoisita; TML – Turmalina; ZIR – Zircão; RUT – Rutilo; BIO – Biotita; ALT – Alterita; OPA – Opacos; HM – Total de minerais pesados; THM – Total de minerais pesados transparentes; THM-ALT – Minerais pesados transparentes sem alterita.

APÊNDICE B - PERCENTUAL DOS MINERAIS PESADOS COM BASE NA CONTAGEM BRUTA

Sample code	% CPX	% GHB	% TRE	% GRT	% KYA	% SIL	% FIB	%SIL tot	% EPI	% AND	% STA	% TIT	% MON	% CLZ	% TML	% ZIR	% RUT	% BIO	% ALT	% OPA	%TR
Na-01	1,7	50,0	3,3	2,3	2,0	6,0	0,7	6,7	4,3	0,0	6,3	0,0	2,3	3,7	1,7	5,3	1,0	18,5	2,7	11,8	0,7
Na-03	0,6	47,2	1,6	1,9	0,0	6,8	1,9	8,7	7,4	0,3	4,9	0,0	3,9	2,3	1,6	6,8	0,6	15,1	3,2	11,0	1,8
Na-05	2,3	45,1	2,6	2,6	1,6	6,2	1,0	7,2	5,2	1,3	4,6	0,0	2,0	4,2	1,3	8,5	0,0	16,8	4,2	11,5	0,0
Na-07	0,9	43,0	2,8	2,2	2,2	7,1	1,5	8,7	2,8	0,9	5,0	0,0	1,2	5,6	1,9	10,2	0,6	18,0	3,4	11,3	0,7
Na-09	1,4	45,5	2,5	1,1	0,0	6,1	1,4	7,5	6,5	0,0	3,9	0,0	1,1	6,8	1,1	7,9	0,4	24,2	6,8	10,0	0,4
Na-11	2,2	48,4	2,2	2,2	0,7	5,4	0,0	5,4	5,4	1,8	6,1	0,0	3,6	4,3	1,1	7,2	0,0	25,2	4,3	8,6	0,8
Na-13	0,8	51,4	3,1	3,5	2,3	3,1	0,0	3,1	3,9	0,0	4,2	0,0	1,9	8,1	0,8	6,9	0,4	27,7	6,6	9,6	2,0
Na-15	0,4	48,4	1,8	3,7	0,0	3,3	2,6	5,9	4,0	1,5	5,1	0,0	2,6	6,2	1,5	5,5	0,0	21,6	7,7	11,2	0,4
Na-17	0,4	47,3	2,6	0,7	1,5	4,8	0,0	4,8	6,2	1,1	5,9	0,7	0,0	11,7	2,2	5,1	0,7	22,9	4,4	12,2	2,8
Na-19	0,8	45,5	3,5	3,1	0,0	4,3	1,6	5,8	7,0	1,9	4,7	0,8	0,0	8,9	1,9	4,3	0,0	25,1	5,8	13,6	1,6
Na-21	1,6	46,0	2,8	2,0	0,0	3,6	2,0	5,6	8,8	0,0	4,0	0,4	0,4	7,6	1,2	5,2	0,0	30,2	8,8	11,4	0,8
Na-23	1,3	45,4	4,4	1,3	0,4	2,6	2,6	5,3	5,3	1,8	4,0	0,0	1,3	4,4	2,2	4,0	0,0	29,3	13,7	9,6	0,5
Na-25	0,8	47,7	3,4	2,7	1,5	2,7	1,5	4,2	4,2	1,1	4,6	0,8	1,1	8,4	0,8	6,9	0,0	23,8	7,6	10,2	2,4
Na-27	0,4	48,3	1,1	3,0	2,2	1,9	0,0	1,9	5,6	0,0	4,9	0,0	3,4	7,5	1,1	9,7	1,1	22,6	7,9	10,6	0,4
Na-29	0,4	49,8	0,4	2,2	1,1	3,3	0,4	3,7	3,3	0,7	6,2	0,7	1,8	5,1	1,8	11,4	0,7	18,0	7,0	11,9	2,8
Na-31	0,9	43,2	1,2	2,8	1,6	4,7	1,9	6,5	5,0	0,0	6,5	1,6	0,0	7,1	2,2	10,6	0,3	17,6	4,0	9,3	0,3
Na-33	1,2	45,0	0,9	2,2	0,6	6,8	0,0	6,8	4,0	0,0	4,3	1,2	2,2	5,9	2,5	12,7	0,9	15,9	2,5	10,7	0,7
General Average																					
Maximum	1,1	46,9	2,4	2,3	1,0	4,6	1,1	5,7	5,2	0,7	5,0	0,4	1,7	6,3	1,6	7,5	0,4	21,9	5,9	10,8	1,1
Minimum	2,3	51,4	4,4	3,7	2,3	7,1	2,6	8,7	8,8	1,9	6,5	1,6	3,9	11,7	2,5	12,7	1,1	30,2	13,7	13,6	2,8
Total	0,4	43,0	0,4	0,7	0,0	1,9	0,0	1,9	2,8	0,0	3,9	0,0	0,0	2,3	0,8	4,0	0,0	15,1	2,5	8,6	0,0

A sigla TR corresponde ao somatório dos minerais traços.

**APÊNDICE C - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO
GRANULOMÉTRICA (PHI) DAS AMOSTRAS DA FACE PRAIAL E PLANÍCIE
DE MARÉ**

CÓDIGO DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA
NA-01	2,98	1,05	-1,02
NA-02	3,46	0,57	-2,56
NA-03	3,45	0,58	-2,2
NA-04	3,13	1,02	-1,67
NA-05	3,29	0,89	-2,12
NA-06	3,45	0,72	-3,02
NA-07	3,33	0,91	-2,4
NA-08	3,36	0,78	-2,59
NA-09	3,32	0,86	-2,56
NA-10	3,05	1,25	-1,6
NA-11	3,17	0,98	-1,87
NA-12	2,9	1,27	-1,32
NA-13	3,27	0,91	-2,2
NA-14	2,97	1,1	-1,2
NA-15	3,05	1	-1,44
NA-16	2,8	1,14	-0,89
NA-17	2,55	1,31	-0,67
NA-18	2,44	1,31	-0,43
NA-19	2,43	1,27	-0,56
NA-20	2,98	0,96	-1,44
NA-21	2,13	1,25	-0,16
NA-22	1,57	1,25	0,65
NA-23	2,94	0,93	-1,5
NA-24	0,79	0,55	3,58
NA-25	0,61	0,54	1,36
NA-26	1,17	1,27	1,22
NA-27	3,62	0,38	-3,27
NA-28	3,08	1,16	-1,37
NA-29	1,15	1,29	1,17
NA-30	1,47	1,19	0,56
NA-31	3,6	0,55	-4,76
NA-32	1,29	1,51	0,73

NA-33	3,62	0,44	-4,28
NA-34	3,61	0,382	-3,308
NA-35	3,587	0,405	-2,971
NA-36	3,604	0,394	-3,549
NA-37	3,612	0,385	-3,547
NA-38	3,631	0,375	-4,468
NA-39	3,616	0,393	-4,184
NA-40	3,573	0,423	-3,3
NA-41	3,511	0,554	-4,119
NA-42	3,426	0,57	-2,912
NA-43	3,52	0,445	-2,002
NA-44	3,545	0,436	-2,453
NA-45	3,583	0,413	-3,088
NA-46	3,627	0,384	-4,417
NA-47	3,645	0,361	-4,782
NA-48	3,668	0,311	-4,851
NA-49	3,672	0,31	-5,504
NA-50	3,617	0,498	-5,533
NA-51	3,606	0,548	-5,395
NA-52	3,552	0,647	-4,27
NA-53	3,576	0,624	-4,497
NA-54	2,76	0,11	4,235
NA-55	3,552	0,624	-4,195
NA-56	3,655	0,367	-5,745
NA-57	3,602	0,398	-3,702
NA-58	3,693	0,304	-7,253
NA-59	3,305	0,589	-1,783
NA-60	3,677	0,409	-7,664
NA-61	3,562	0,505	-4,272
NA-62	3,637	0,571	-6,384
NA-63	3,525	0,569	-4,068
NA-64	3,607	0,548	-5,243
NA-65	3,593	0,457	-5,005
NA-66	3,593	0,555	-4,763
NA-67	3,529	0,44	-2,163
NA-68	3,582	0,639	-5,534
NA-69	3,46	0,614	-3,904
NA-70	3,28	1,066	-2,676
NA-71	3,462	0,52	-2,417

NA-72	3,487	0,699	-3,228
NA-73	3,407	0,528	-1,87
NA-74	3,57	0,598	-4,236
NA-75	3,333	0,525	-0,899
NA-76	3,559	0,716	-4,906
NA-77	3,493	0,472	-1,893
NA-78	3,591	0,489	-4,319
NA-79	3,378	0,535	-1,568
NA-80	3,539	0,484	-3,08
NA-81	3,419	0,527	-1,94
NA-82	3,518	0,477	-2,427
NA-83	3,399	0,53	-1,411
NA-84	3,535	0,531	-3,884
NA-85	3,381	0,551	-1,822
NA-86	3,471	0,608	-3,589
NA-87	3,344	0,514	-0,735
NA-88	3,476	0,618	-3,806
NA-89	3,326	0,564	-1,391
NA-90	3,474	0,641	-3,864
NA-91	3,525	0,534	-3,717
NA-92	3,484	0,722	-3,655
NA-93	3,348	0,544	-1,173
NA-94	3,343	0,537	-1,102
NA-95	3,298	0,581	-1,329
NA-96	3,294	0,548	-0,976
NA-97	3,259	0,563	-0,79
NA-98	3,392	0,541	-1,58
NA-99	3,254	0,542	-0,519
NA-100	3,197	0,761	-2,084
NA-101	3,43	0,652	-2,707
NA-102	3,401	0,604	-2,283
NA-103	3,449	0,857	-3,199
NA-104	3,336	0,86	-2,445
NA-105	3,377	0,795	-3,059
NA-106	3,519	0,612	-3,5
NA-107	3,328	0,7	-2,723
NA-108	3,499	0,707	-3,642
NA-109	3,444	0,728	-3,442
NA-110	3,474	0,649	-3,02

NA-111	3,381	0,784	-2,957
NA-112	3,549	0,579	-3,887
NA-113	3,418	0,718	-2,786
NA-114	3,443	0,757	-3,362
NA-115	3,333	0,767	-3,062
NA-116	3,467	0,729	-3,555
NA-117	3,241	0,809	-2,332
NA-118	3,499	0,549	-2,964
NA-119	3,357	0,698	-2,569
NA-120	3,644	0,407	-5,665
NA-121	3,584	0,552	-4,832
NA-122	3,592	0,513	-4,807
NA-123	3,634	0,48	-5,605
NA-124	3,645	0,41	-5,751
NA-125	3,582	0,51	-4,474
NA-126	3,64	0,37	-4,436
NA-127	3,349	0,891	-2,272
NA-128	3,183	1,119	-1,793
NA-129	3,471	0,671	-3,348
NA-130	2,564	1,321	-0,614
NA-131	2,231	1,448	-0,323
NA-132	3,301	0,92	-2,148
NA-133	3,651	0,374	-5,844
NA-134	3,507	0,746	-4,452
NA-135	3,444	0,675	-2,96
NA-136	3,575	0,539	-4,321
NA-137	3,493	0,626	-3,213
NA-138	3,382	0,703	-2,899
NA-139	3,475	0,648	-3,602
NA-140	3,574	0,506	-4,256
NA-141	3,524	0,551	-3,791
NA-142	3,412	0,726	-3,402
NA-143	3,369	0,838	-3,219
NA-144	3,257	0,903	-2,88
NA-145	3,424	0,533	-1,971
NA-146	2,834	1,233	-1,483
NA-147	2,59	1,391	-1,112
NA-148	3,39	0,782	-2,369
NA-149	3,655	0,326	-4,272

NA-150	3,122	0,708	-1,382
NA-151	3,497	0,627	-3,611
NA-152	3,486	0,59	-2,852
NA-153	3,62	0,469	-5,147
NA-154	3,568	0,445	-3,07
NA-155	3,573	0,563	-4,41
NA-156	3,605	0,566	-5,216
NA-157	3,471	0,652	-3,31
NA-158	3,571	0,552	-4,633
NA-159	3,626	0,471	-5,223
NA-160	3,644	0,444	-5,403
NA-161	3,587	0,456	-4,091
NA-162	3,48	0,597	-3,58
NA-163	3,514	0,576	-3,412
NA-164	3,52	0,714	-4,296
NA-165	3,41	0,765	-2,933
NA-166	3,413	0,709	-2,87
NA-167	3,426	0,58	-2,451
NA-168	3,246	0,765	-2,165
NA-169	3,473	0,609	-3,817
NA-170	3,293	0,799	-2,793
NA-171	3,517	0,724	-4,082
NA-172	3,46	0,77	-3,674
NA-173	2,818	1,009	-0,518
NA-174	2,999	1,001	-0,92
NA-175	3,555	0,479	-3,318
NA-176	3,264	0,768	-2,761
NA-177	3,219	0,927	-2,456
NA-178	3,576	0,566	-4,544
NA-179	3,576	0,52	-4,543
NA-180	3,55	0,632	-4,339
NA-181	3,568	0,682	-4,681
NA-182	3,641	0,441	-5,326
NA-183	3,464	0,67	-3,611
NA-184	3,421	0,684	-3,713
NA-185	3,459	0,693	-3,734
NA-186	3,514	0,579	-4,026
NA-187	3,594	0,549	-4,458
NA-188	3,384	0,798	-3,292

APÊNDICE D - DADOS DE ENTRADA APLICADOS NO SOFTWARE GSTAST

INPUT					
187	1.0	400	10000	1.645	
1	690852	474017	2.975	1.046	-1.017
2	690673	474476	3.459	0.565	-2.564
3	690461	474939	3.449	0.583	-2.204
4	690237	475367	3.133	1.016	-1.667
5	689960	475800	3.285	0.893	-2.124
6	689670	476220	3.453	0.717	-3.024
7	689384	476596	3.328	0.905	-2.402
8	689063	476995	3.359	0.783	-2.590
9	688701	477360	3.320	0.859	-2.559
10	688321	477679	3.046	1.254	-1.599
11	687946	478002	3.170	0.976	-1.868
12	687601	478355	2.905	1.268	-1.319
13	687269	478704	3.266	0.911	-2.199
14	686926	479084	2.972	1.101	-1.196
15	686571	479423	3.053	0.996	-1.441
16	686198	479765	2.802	1.138	-0.889
17	685848	480110	2.552	1.313	-0.670
18	685469	480427	2.444	1.314	-0.427
19	685050	480736	2.434	1.274	-0.562
20	684610	480981	2.977	0.961	-1.440
21	684156	481174	2.129	1.253	-0.165
22	683681	481323	1.566	1.249	0.649
23	683166	481317	2.940	0.931	-1.499
24	682411	481433	0.795	0.552	3.580
25	682079	481574	0.605	0.544	1.356
26	681646	481784	1.174	1.270	1.222
27	681207	481993	3.617	0.384	-3.267
28	680715	482182	3.076	1.155	-1.373
29	680272	482332	1.145	1.290	1.170
30	679752	482475	1.475	1.195	0.565
31	679277	482527	3.600	0.546	-4.759
32	678800	482602	1.291	1.509	0.731
33	678319	482691	3.617	0.439	-4.280
34	690929	473986	3.610	0.382	-3.308
35	690837	474219	3.587	0.405	-2.971
36	690740	474444	3.604	0.394	-3.549
37	690634	474666	3.612	0.385	-3.547

38	690524	474897	3.631	0.375	-4.468
39	690421	475120	3.616	0.393	-4.184
40	690299	475337	3.573	0.423	-3.300
41	690176	475558	3.511	0.554	-4.119
42	690047	475781	3.426	0.570	-2.912
43	689910	475990	3.520	0.445	-2.002
44	689774	476185	3.545	0.436	-2.453
45	689630	476387	3.583	0.413	-3.088
46	689475	476593	3.627	0.384	-4.417
47	689322	476788	3.645	0.361	-4.782
48	689160	476984	3.668	0.311	-4.851
49	689002	477173	3.672	0.310	-5.504
50	688826	477345	3.617	0.498	-5.533
51	688636	477509	3.606	0.548	-5.395
52	688452	477677	3.552	0.647	-4.270
53	688262	477848	3.576	0.624	-4.497
54	688085	478025	2.760	0.110	4.235
55	687900	478198	3.552	0.624	-4.195
56	687727	478381	3.655	0.367	-5.745
57	687550	478555	3.602	0.398	-3.702
58	687736	478742	3.693	0.304	-7.253
59	687398	478736	3.305	0.589	-1.783
60	687566	478911	3.677	0.409	-7.664
61	687233	478918	3.562	0.505	-4.272
62	687393	479087	3.637	0.571	-6.384
63	687068	479104	3.525	0.569	-4.068
64	687240	479273	3.607	0.548	-5.243
65	686891	479293	3.593	0.457	-5.005
66	687076	479462	3.593	0.555	-4.763
67	686709	479463	3.529	0.440	-2.163
68	686886	479650	3.582	0.639	-5.534
69	686520	479631	3.460	0.614	-3.904
70	686701	479818	3.280	1.066	-2.676
71	686337	479822	3.462	0.520	-2.417
72	686526	479980	3.487	0.699	-3.228
73	686160	479992	3.407	0.528	-1.870
74	686343	480164	3.570	0.598	-4.236
75	685974	480149	3.333	0.525	-0.899
76	686162	480327	3.559	0.716	-4.906
77	685778	480307	3.493	0.472	-1.893
78	685964	480485	3.591	0.489	-4.319
79	685592	480476	3.378	0.535	-1.568

80	685763	480651	3.539	0.484	-3.080
81	685395	480635	3.419	0.527	-1.940
82	685548	480819	3.518	0.477	-2.427
83	685195	480782	3.399	0.530	-1.411
84	685352	480977	3.535	0.531	-3.884
85	684992	480916	3.381	0.551	-1.822
86	685140	481116	3.471	0.608	-3.589
87	684768	481033	3.344	0.514	-0.735
88	684891	481247	3.476	0.618	-3.806
89	684538	481139	3.326	0.564	-1.391
90	684671	481353	3.474	0.641	-3.864
91	684439	481448	3.525	0.534	-3.717
92	684207	481535	3.484	0.722	-3.655
93	683953	481610	3.348	0.544	-1.173
94	683708	481681	3.343	0.537	-1.102
95	683431	481714	3.298	0.581	-1.329
96	683341	481481	3.294	0.548	-0.976
97	683582	481451	3.259	0.563	-0.790
98	683831	481400	3.392	0.541	-1.580
99	684070	481326	3.254	0.542	-0.519
100	684307	481226	3.197	0.761	-2.084
101	681766	482699	3.430	0.652	-2.707
102	682000	482599	3.401	0.604	-2.283
103	682240	482489	3.449	0.857	-3.199
104	682469	482385	3.336	0.860	-2.445
105	682348	482163	3.377	0.795	-3.059
106	682248	481974	3.519	0.612	-3.500
107	682118	482258	3.328	0.700	-2.723
108	682024	482054	3.499	0.707	-3.642
109	681894	482372	3.444	0.728	-3.442
110	681799	482155	3.474	0.649	-3.020
111	681657	482470	3.381	0.784	-2.957
112	681567	482255	3.549	0.579	-3.887
113	681343	482354	3.418	0.718	-2.786
114	681420	482570	3.443	0.757	-3.362
115	681104	482438	3.333	0.767	-3.062
116	681184	482656	3.467	0.729	-3.555
117	680865	482536	3.241	0.809	-2.332
118	680957	482750	3.499	0.549	-2.964
119	680628	482622	3.357	0.698	-2.569
120	680719	482835	3.644	0.407	-5.665
121	680407	482702	3.584	0.552	-4.832

122	680172	482773	3.592	0.513	-4.807
123	679922	482845	3.634	0.480	-5.605
124	679665	482883	3.645	0.410	-5.751
125	679411	482897	3.582	0.510	-4.474
126	679148	482903	3.640	0.370	-4.436
127	680747	482333	3.349	0.891	-2.272
128	680505	482416	3.183	1.119	-1.793
129	680273	482505	3.471	0.671	-3.348
130	680029	482577	2.564	1.321	-0.614
131	679783	482633	2.231	1.448	-0.323
132	679535	482640	3.301	0.920	-2.148
133	679282	482648	3.651	0.374	-5.844
134	679033	482674	3.507	0.746	-4.452
135	683262	482448	3.444	0.675	-2.960
136	683502	482438	3.575	0.539	-4.321
137	683747	482428	3.493	0.626	-3.213
138	683980	482358	3.382	0.703	-2.899
139	681529	482802	3.475	0.648	-3.602
140	681854	482928	3.574	0.506	-4.256
141	682088	482825	3.524	0.551	-3.791
142	680983	482238	3.412	0.726	-3.402
143	681206	482143	3.369	0.838	-3.219
144	681436	482046	3.257	0.903	-2.880
145	681670	481943	3.424	0.533	-1.971
146	681898	481844	2.834	1.233	-1.483
147	682136	481731	2.590	1.391	-1.112
148	682348	481625	3.390	0.782	-2.369
149	682580	481521	3.655	0.326	-4.272
150	682827	481478	3.122	0.708	-1.382
151	682819	481266	3.497	0.627	-3.611
152	683081	481480	3.486	0.590	-2.852
153	683191	481734	3.620	0.469	-5.147
154	682940	481751	3.568	0.445	-3.070
155	682684	481772	3.573	0.563	-4.410
156	682458	481875	3.605	0.566	-5.216
157	682576	482063	3.471	0.652	-3.310
158	682801	481972	3.571	0.552	-4.633
159	683049	481961	3.626	0.471	-5.223
160	683301	481945	3.644	0.444	-5.403
161	684756	481580	3.587	0.456	-4.091
162	684983	481463	3.480	0.597	-3.580
163	685213	481336	3.514	0.576	-3.412

164	684508	481682	3.520	0.714	-4.296
165	684258	481784	3.410	0.765	-2.933
166	684027	481859	3.413	0.709	-2.870
167	683792	481916	3.426	0.580	-2.451
168	683543	481954	3.246	0.765	-2.165
169	683137	482225	3.473	0.609	-3.817
170	683006	482409	3.293	0.799	-2.793
171	682778	482501	3.517	0.724	-4.082
172	682891	482185	3.460	0.770	-3.674
173	678536	482775	2.818	1.009	-0.518
174	678778	482727	2.999	1.001	-0.920
175	682665	482269	3.555	0.479	-3.318
176	683387	482212	3.264	0.768	-2.761
177	683612	482193	3.219	0.927	-2.456
178	686301	480498	3.576	0.566	-4.544
179	686112	480674	3.576	0.520	-4.543
180	685929	480846	3.550	0.632	-4.339
181	685682	481023	3.568	0.682	-4.681
182	685451	481183	3.641	0.441	-5.326
183	684581	481919	3.464	0.670	-3.611
184	684344	481994	3.421	0.684	-3.713
185	684104	482084	3.459	0.693	-3.734
186	683860	482149	3.514	0.579	-4.026
187	682316	482730	3.594	0.549	-4.458
188	682561	482630	3.384	0.798	-3.292

APÊNDICE E - DADOS DE SAÍDA RESULTANTES DO SOFTWARE GSTAST

OUTPUT				
Number of Repetition and tv=			10000	164.500
Sample No.	X	Y	Length	Direction
6	689670.00	476220.00	0.75	324.22
7	689384.00	476596.00	0.75	321.78
23	683166.00	481317.00	1.01	4.98
25	682079.00	481574.00	1.11	40.56
29	680272.00	482332.00	1.31	39.72
32	678800.00	482602.00	0.80	115.60
39	690421.00	475120.00	0.65	119.12
41	690176.00	475558.00	0.97	127.92
44	689774.00	476185.00	0.74	331.52
53	688262.00	477848.00	0.68	70.29
55	687900.00	478198.00	0.82	53.92
57	687550.00	478555.00	0.85	53.74
81	685395.00	480635.00	1.22	56.61
96	683341.00	481481.00	0.99	353.36
99	684070.00	481326.00	1.13	13.53
117	680865.00	482536.00	0.79	24.27
119	680628.00	482622.00	0.89	26.07
121	680407.00	482702.00	1.13	19.54
127	680747.00	482333.00	1.24	23.60
128	680505.00	482416.00	1.41	23.77
129	680273.00	482505.00	1.15	27.61
130	680029.00	482577.00	0.76	355.99
157	682576.00	482063.00	0.78	122.44
158	682801.00	481972.00	0.81	130.07
169	683137.00	482225.00	0.71	169.88
172	682891.00	482185.00	0.86	164.81