



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

LUIS HENRIQUE DA SILVA UCHÔA

**ESTIMATIVA DO CUSTO DA EROSIÃO COSTEIRA POR MEIO DA
VALORAÇÃO AMBIENTAL DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
NO LITORAL DE ICAPUÍ-CE**

FORTALEZA

2025

LUIS HENRIQUE DA SILVA UCHÔA

ESTIMATIVA DO CUSTO DA EROSÃO COSTEIRA POR MEIO DA VALORAÇÃO
AMBIENTAL DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO LITORAL DE ICAPUÍ-CE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Oceanografia do Instituto de Ciências do
Mar da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique
Gomes de Oliveira Sousa

FORTALEZA

2025

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)

- U19e Uchôa, Luis Henrique da Silva.
Estimativa do Custo da Erosão Costeira por Meio da Valoração Ambiental dos Serviços Ecossistêmicos no Litoral De Icapuí–Ce / Luis Henrique da Silva Uchôa. – 2026.
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2026.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa .
Coorientação: Profa. Dra. Kamila Vieira de Mendonça.
Coorientação: Me. Anderson Nonato de Freitas
1. Linha de costa. 2. Sensoriamento remoto. 3. Serviços ecossistêmicos . I. Título.
- 551.46 CDD
-

ESTIMATIVA DO CUSTO DA EROÇÃO COSTEIRA POR MEIO DA VALORAÇÃO
AMBIENTAL DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO LITORAL DE ICAPUÍ-CE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Oceanografia do Instituto de Ciências do
Mar da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: 23/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Kamila Vieira de Mendonça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Anderson Nonato de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Melvin Moura Leisner
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Sobre ombros de gigantes

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa por sua excelente orientação.

Muito Obrigado PH.

Ao Prof. Dr. Edson Vicente da Silva, o Cacau que muito me ensinou e não me deixou desistir.

A todos os professores e colegas que compartilharam seus conhecimentos comigo, sou muito grato

“A natureza não é um objeto diante de nós, mas o solo que nos sustenta”

Maurice Merleau-Ponty, 2006

RESUMO

A erosão costeira tem se mostrado um problema cada vez mais pertinente nos litorais tendo em todo mundo locais onde o recuo da linha de costa tem se agravado. No Brasil, por sua extensa faixa litorânea há casos em diversos trechos, No Brasil, devido à extensa faixa litorânea, o fenômeno manifesta-se em diversos setores, com destaque para os litorais semiáridos, onde as condições climáticas adversas e a intensificação de eventos extremos agravam o déficit sedimentar e aceleram os processos erosivos. Este trabalho estimou o custo da erosão costeira no litoral do município de Icapuí–CE por meio da valoração ambiental dos serviços ecossistêmicos perdidos utilizando o método de transferência de benefícios, com base em análise multitemporal da linha de costa. A variação foi monitorada entre 2020 e 2025 com a ferramenta CASSIE (*Coastal Analyst System from Space Imagery Engine*), utilizando imagens Sentinel-2 e geração automática de 430 transectos espaçados a cada 100 m ao longo de toda a orla. Também foi medida taxas de mudança avaliadas pelos índices EPR (*End Point Rate*) e LRR (*Linear Regression Rate*), permitindo identificar setores mais críticos de recuo. O trabalho apontou que a erosão em Icapuí é de caráter progressivo e cumulativo, e reduz a capacidade natural de proteção costeira e gerando perdas econômicas recorrentes associadas à redução do capital natural, reforçando a necessidade de estratégias de gestão costeira integradas e compatíveis com a dinâmica sedimentar local.

Palavras-chave: linha de costa; sensoriamento remoto; serviços ecossistêmicos

ABSTRACT

Coastal erosion has become an increasingly relevant problem worldwide, with several coastal areas experiencing accelerated shoreline retreat. In Brazil, due to its extensive coastline, this phenomenon affects multiple regions, particularly semi-arid coastal zones, where adverse climatic conditions and the intensification of extreme events exacerbate sediment deficits and accelerate erosive processes. This study estimated the economic cost of coastal erosion along the shoreline of the municipality of Icapuí, Ceará State, Brazil, through the environmental valuation of lost ecosystem services using the benefit transfer method, based on a multitemporal analysis of shoreline change. Shoreline variation was monitored between 2020 and 2025 using the Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE), with Sentinel-2 imagery and the automatic generation of 430 transects spaced every 100 m along the entire coastline. Rates of shoreline change were also calculated using the End Point Rate (EPR) and Linear Regression Rate (LRR) indices, allowing the identification of the most critical erosion sectors. The results indicate that coastal erosion in Icapuí is progressive and cumulative in nature, reducing the natural capacity for coastal protection and generating recurrent economic losses associated with the decline of natural capital. These findings highlight the need for integrated coastal management strategies that are consistent with local sedimentary dynamics.

Keywords: shoreline; remote sensing; ecosystem services.

Lista de Figuras

Figura 1 – Delimitação da Região Semiárida no contexto espacial do Litoral Setentrional do Brasil	15
Figura 2 – Notícias sobre aplicação de recursos em obras de prevenção no litoral de Icapuí – CE	17
Figura 3 – Notícias sobre a erosão costeira em Icapuí.....	18
Figura 4 – Localização geográfica do município de Icapuí – CE.....	22
Figura 5 – Funcionamento da ferramenta CASSIENGINE para extração da linha de costa	23
Figura 6 – Diagnóstico da dinâmica da linha de costa do litoral de Icapuí.....	33
Figura 7 – Comparação entre EPR e LRR dividida em setores do litoral de Icapuí.....	39
Figura 8 – Chamada de matéria divulgada no jornal O Povo sobre a erosão costeira em Icapuí.....	45
Figura 9 – Espigão instalado na praia de Peroba, município de Icapuí – CE.....	46

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Distribuição percentual dos transectos por classe (2020–2025).....	34
Gráfico 2 – Classificação da variação da linha de costa pelo método LRR	36
Gráfico 3 – EPR ano a ano.....	37
Gráfico 4 – Percentual dos serviços ecossistêmicos afetados no município de Icapuí.	43

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	21
2.1. Geral:	21
2.2. Específicos:	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	22
3.1. Área de Estudo: o município de Icapuí.....	22
3.2 Uso e Ocupação do Litoral	23
3.4 Influência climática e oceanográfica	23
3.5 Geologia.....	24
3.3 Características morfológicas.....	25
3.6 Erosão costeira	25
3.7 Valoração Ambiental	26
3.7.1 Serviços Ecossistêmicos e Ambientes Costeiros	26
3.7.2 Transferência de Benefícios	27
4 METODOLOGIA	29
4.1 Valoração Ambiental	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 Variação da linha de costa em Icapuí	33
5.2 A Valoração	40
6 CONCLUSÕES	48
7 REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

As praias são ambientes de interface entre o continente e o oceano, caracterizando-se como sistemas dinâmicos controlados pela interação entre processos continentais e marinhos (Bird, 2008; Muehe, 2018). A maioria das praias é classificada como arenosa, em função do predomínio de sedimentos inconsolidados, principalmente areia, em sua composição superficial (Komar, 1998; Angulo et al., 2006). A formação geológica desses ambientes, conforme são reconhecidos atualmente, remonta a aproximadamente 6 a 10 mil anos, período correspondente ao final do Pleistoceno e ao início do Holoceno, quando a estabilização relativa do nível do mar favoreceu o desenvolvimento das feições costeiras modernas (Suguio et al., 2005; Angulo et al., 2006). A areia que compõe essas áreas teve origem, em grande parte, durante a elevação do nível do mar no período pós-glacial, quando expressivos volumes de sedimentos continentais foram transportados e redistribuídos ao longo da linha de costa por ação de ondas, correntes e marés (Komar, 1998; Wright & Short, 1984; Muehe, 2018).

As praias são ambientes altamente dinâmicos, tendo sua morfologia constantemente alterada devido a interação entre processos oceânicos e atmosféricos, como ondas, marés, ventos e correntes litorâneas. Esses fatores atuam de maneira conjunta na redistribuição de sedimentos, promovendo avanço ou recuo da linha de costa e originando feições como praias, berma e canais sazonais, planícies fluviomarinhas e campos de dunas. Pesquisas recentes em morfodinâmica costeira destacam que tais mudanças podem ocorrer tanto em escalas de curto prazo estando associadas a tempestades, ressacas e ciclos de maré, quanto em escalas de longo prazo, relacionadas a tendências climáticas, variações no regime de ondas e intervenções antrópicas (Short & Jackson, 2020).

O sedimento praial é continuamente depositado e erodido pela ação das ondas, correntes e marés. Esse processo natural exerce um papel fundamental no equilíbrio dinâmico da zona costeira, definido pelo balanço sedimentar, no qual as entradas e saídas de sedimentos se compensam (Komar, 1998; Muehe, 2018). Quando esse equilíbrio é rompido, seja por causas naturais, como tempestades e variações do regime de ondas, ou por ações antrópicas, como retirada de areia, construções em dunas e ocupação da linha de costa, o sistema entra em déficit

sedimentar, resultando em erosão costeira e recuo da linha de praia (Vital & Stattegger, 2000).

Outros estudos mostram que a sensibilidade das praias às forças naturais e está diretamente ligada à sua composição sedimentar e ao balanço de energia das ondas, fatores determinantes na formação e estabilidade de perfis praias (Harley et al., 2022). A variabilidade desses elementos explica por que algumas praias apresentam ciclos de erosão e acresção relativamente previsíveis, enquanto outras exibem comportamento mais instável, com perda acentuada de sedimentos durante eventos extremos (Vousdoukas et al., 2020).

As praias desempenham um papel essencial na regulação natural da zona costeira, funcionando como zonas de amortecimento que dissipam a energia das ondas, assim mitigando impactos erosivos sobre o continente e favorecendo a resistência de ecossistemas costeiros (McLachlan & Defeo, 2018). Esses ambientes sustentam uma elevada biodiversidade, abrigando comunidades de macrofauna adaptadas a condições físicas severas e variáveis, além de servirem como áreas críticas para alimentação, reprodução e desova de diversas espécies marinhas e costeiras (Defeo et al., 2021).

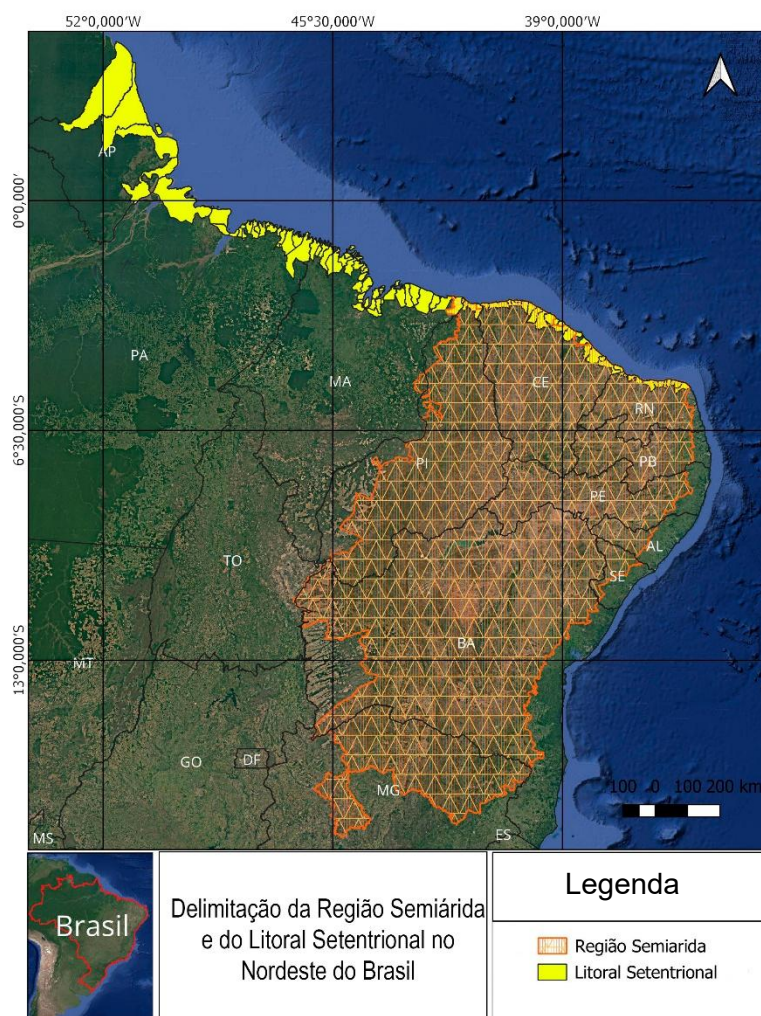
O Brasil possui cerca de 10.800 km de linha de costa, com 82.778 hectares de praias, representando cerca de 2% dos ecossistemas costeiros brasileiros (MMA, 2010). Sendo esses, ambientes que concentram ecossistemas frágeis e de alto valor socioeconômico (Scherer, 2013). As zonas costeiras exercem diversos papéis na ecologia da fauna e flora adaptados a esse tipo de ambiente através da evolução (Chapman; Underwood, 2011. Defeo et al., 2021).

No ordenamento jurídico brasileiro, conforme estabelecido no art. 20, inciso IV, da Constituição Federal de 1988, as praias são bens de uso comum do povo, o que reforça seu caráter público e sua relevância social. Assim, a erosão costeira, ao comprometer a integridade física e ecológica dessas áreas, representa também uma perda de valor social e ambiental (Scherer, 2013). A intensificação da erosão costeira implica na diminuição da faixa arenosa e o avanço do mar sobre o continente, reduzindo a faixa de praia e comprometendo os serviços ecossistêmicos que ela oferece, como a recreação, a proteção costeira e o habitat de diversas espécies (Defeo et al., 2009; Scherer, 2013). Essa

perda física se traduz também em perdas econômicas e sociais, especialmente em comunidades que dependem do turismo, da pesca e da integridade ambiental da zona costeira.

O Litoral Setentrional Semiárido Brasileiro se estende pelos estados do Piauí, passando pelo Ceará indo até o Rio Grande do Norte, essa região costeira é particularmente sensível (Muehe, 2018), observar Figura 1.

Figura 1: Delimitação da Região Semiárida no contexto espacial do Litoral Setentrional do Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

Segundo Ferreira et al. (2022) e Maia et al. (2023), o clima semiárido, caracterizado por reduzida pluviosidade, alta exposição à radiação solar e pela predominância de ventos alísios de sudeste, exerce forte influência na modelagem desse ambiente costeiro, onde processos continentais e marinhos interagem de forma dinâmica, resultando em elevada instabilidade ambiental. Nesse contexto, a baixa densidade fluvial, a ampliação sazonal da evaporação e

a presença de extensos campos de dunas móveis conferem grande mobilidade às feições costeiras. Em conjunto, esses fatores tornam o litoral setentrional brasileiro um dos trechos mais vulneráveis aos processos erosivos e aos impactos das mudanças climáticas no país,

Nesse contexto regional, o litoral do Ceará se destaca pela forte interação entre clima semiárido e as condições ambientais representadas pela presença de depósitos eólicos, marés expressivas e uma crescente pressão socioeconômica sobre os recursos naturais (Maia, 1998; Maia, Diodato & Ferreira, 2023). O estado do Ceará, possui cerca de 573 km de costa, com ecossistemas que incluem o mar litorâneo, praias arenosas extensas, campos de dunas ativas, falésias do Grupo Barreiras, estuários e manguezais (Pinheiro et al, 2016). O Ceará está entre os estados mais suscetíveis à erosão costeira no país, especialmente em função da baixa oferta sedimentar continental, da presença de edificações e vias próximas à orla e da alteração de corredores eólicos naturais responsáveis pelo abastecimento das praias (Diodato et al., 2024).

Devido a um contexto regional interior de clima semiárido, a drenagem fluvial tende a ser intermitente e os aportes fluviais de sedimentos para a costa e estuários, com processos sedimentares em sua maioria irregulares e eventuais. A direção dos ventos e ondas, favorecem o transporte de sedimento costeiro eólico longo das praias (EMBRAPA, 2014; Soares et al., 2021). Considerando a presença e dinâmica de depósitos arenosos e dunas, emersas e submersas, a atenção se volta para “estoque” de sedimentos costeiros, cuja organização e mobilidade podem ser fortemente condicionadas por ventos mais intensos na estação seca, ofertando uma maior disponibilidade de areia para praias e campos de dunas (Maia et al., 2005; Soares et al., 2021; Barros, 2023).

O relatório do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC, 2024) intitulado “Metade da costa cearense deverá perder pelo menos 10 metros de faixa de areia até 2040, prevê estudo pioneiro” estima perda em 50% da região litorânea, considerando cenários atuais de aumento do nível do mar e da intensificação de extremos oceanográficos. Trechos no litoral leste, incluindo municípios como Aracati, Fortim e Icapuí, são mencionados entre os mais vulneráveis devido à combinação entre marés energéticas e ocupação crescente (Silva et al., 2020/2022; Chacanza et al., 2024; UFC, 2024).

Estudos geomorfológicos e análises por sensoriamento remoto demonstram que a deriva litorânea é predominante de leste para oeste, causando redistribuição sedimentar contínua ao longo da costa, de modo que intervenções antrópicas em um setor frequentemente resultam em erosão acentuada em setores a jusante (Cavalcante et al., 2019; Queiroz et al., 2022). Em áreas urbanizadas, essa dinâmica natural tende a entrar em conflito com infraestruturas fixas, amplificando riscos e vulnerabilidades.

Silva, Morais e Maia (2018) e Pontes, Ferreira e Chacanza (2023) demonstram que, em Icapuí, no setor mais oriental do Ceará, a erosão costeira ocorre de forma progressiva e contínua, refletindo um desequilíbrio sedimentar persistente. Esses autores indicam que a combinação entre a fragilidade natural do ambiente praias e as pressões antrópicas, como o adensamento urbano e a exploração de recursos naturais, intensifica a perda de sedimentos e ameaça a estabilidade das praias locais. Nesse contexto, Chacanza et al. (2022) destacam a urgência da adoção de medidas de gestão e conservação costeira voltadas à mitigação dos processos erosivos na região.

A compreensão dos impactos da erosão costeira vai além da observação de mudanças físicas na paisagem, quando se reconhece que a perda de sedimentos implica também, na diminuição de bens e serviços ecossistêmicos (Barbier, 2011). Essas modificações quando de forma contínuas ou bem acentuada afetam o equilíbrio que sustentam o bem-estar e a economia local. Nesse contexto, a valoração ambiental surge como uma ferramenta essencial para traduzir em termos monetários os prejuízos associados à degradação dos ecossistemas costeiros, permitindo dimensionar economicamente aquilo que, muitas vezes, é percebido apenas como um problema natural (Costanza et al., 1997; Pearce & Turner, 1990). Observar a Figura 2.

Figura 2: Notícias sobre aplicação de recursos em obras de prevenção no litoral de Icapuí – CE



Fonte: Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2020)

A gravidade da erosão costeira em Icapuí também se reflete no volume de recursos públicos destinados à sua contenção. Em 2020, o Governo Federal autorizou a liberação de R\$ 15,7 milhões para a execução de obras estruturais de prevenção de desastres na orla do município, incluindo muros de contenção nas praias de Barreiras, Barrinha e Peroba (BRASIL, 2020). Esse investimento aponta tanto a intensidade do processo erosivo quanto a predominância de soluções de engenharia pesada para estabilizar um sistema costeiro intrinsecamente dinâmico, levantando questionamentos sobre a sustentabilidade dessas intervenções frente à perda de serviços ecossistêmicos naturais.

No caso de Icapuí, a aplicação de métodos de valoração ambiental é particularmente relevante, pois a erosão progressiva ameaça não apenas a integridade física das praias, mas também os serviços ecossistêmicos que elas oferecem, como a regulação climática e hidrológica, a proteção contra tempestades, o suporte à biodiversidade e o valor cultural e recreativo associado às atividades de lazer e turismo (MEA, 2005; Scherer, 2013). Ao tentar conter as perdas por meio de obras de alto valor, como indica a Figura 3, há problemas de logísticas que comprometem a efetuação, além de debates sobre a eficácia, ao recorrer a valoração, há subsídios concretos para o planejamento territorial, a gestão ambiental e a formulação de políticas públicas voltadas à conservação da zona costeira.

Figura 3: Notícias sobre a intervenção a erosão costeira em Icapuí



Fonte: Diário do Nordeste (12 de dezembro de 2025)

Nesse contexto, a valoração ambiental reúne diferentes abordagens metodológicas voltadas à estimativa monetária dos serviços ecossistêmicos, entre as quais se destaca o método de transferência de benefícios, que a valoração dos serviços ecossistêmicos perdidos em consequência da saída ou redistribuição de sedimentos. Esse processo requer identificar os principais serviços afetados e aplicar metodologias adequadas à sua quantificação, como o Custo de Reposição, o Custo de Oportunidade e o Método de Transferência de Benefícios, que permitem estimar monetariamente os danos ambientais (Fearnside, 2018; MMA, 2011). Assim, a valoração atua como um elo entre o conhecimento ecológico e a tomada de decisão ao direcionar, evidenciando o custo econômico da inação frente à erosão e reforçando a importância de medidas preventivas e compensatórias.

A valoração ambiental surge como uma ferramenta capaz de integrar a dimensão ecológica aos processos de decisão pública e de planejamento territorial. Em Icapuí, onde a erosão costeira apresenta caráter contínuo e cumulativo, a quantificação econômica dos impactos ambientais permite demonstrar, de forma objetiva, o custo associado à perda de sedimentos e dos serviços ecossistêmicos costeiros. Essa abordagem torna visível o valor econômico das funções naturais das praias como a regulação climática, a proteção contra eventos extremos e a provisão de recursos que, embora

fundamentais, raramente são incorporadas às análises de gestão costeira (Costanza et al., 1997; De Groot et al., 2012; MMA, 2011).

A aplicação da valoração ambiental no litoral de Icapuí foi baseada na estimativa monetária das perdas de serviços ecossistêmicos decorrentes do recuo da linha de costa. A partir do método de Transferência de Benefícios, foi considerada quatro categorias principais de serviços: regulação, provisão, habitat e cultural, conforme a classificação global proposta por Constanza (1997) depois atualizada por De Groot et al. (2012) e sistematizada na *Ecosystem Services Valuation Database* pela ESVD (2020). A área de referência foi analisada a partir da análise da linha de costa com o sistema CASSIE (Coastal Analyst System from Space Imagery Engine), configurando a base espacial da valoração. Os valores monetários unitários foram ajustados para o ano de 2024 mediante atualização pelo Consumer Price Index (CPI-U) do *Bureau of Labor Statistics* e convertidos em reais (R\$) segundo a taxa média anual de câmbio do Banco Central do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral:

Quantificar e qualificar os impactos ambientais, sociais e econômicos da erosão costeira em áreas vulneráveis do litoral do município de Icapuí no Ceará.

2.2. Específicos:

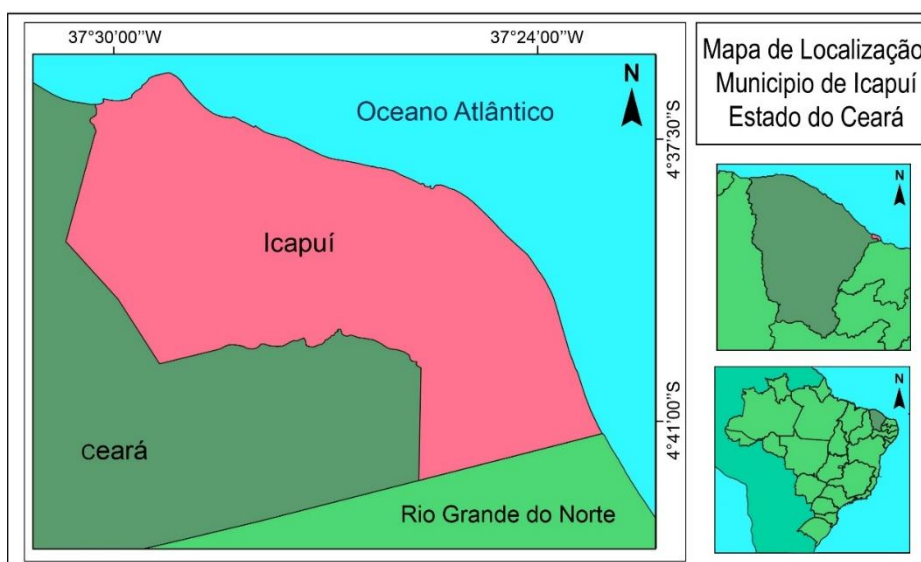
1. Identificar e mapear áreas impactadas pelo processo de erosão.
2. Mensurar o valor dos serviços ecossistêmicos afetados
3. Avaliar melhor valoração ambiental na gestão costeira, com foco em diagnósticos a partir da interpretação da natureza e da resiliência comunitária

3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1. Área de Estudo: o município de Icapuí

O município de Icapuí está localizado no extremo leste do Estado do Ceará, na divisa com o Rio Grande do Norte ($04^{\circ}43' - 04^{\circ}58'S$; $37^{\circ}21' - 37^{\circ}33'W$) e distante cerca de 204 km da capital Fortaleza. Seu litoral, com aproximadamente 65 km de extensão, o setor mais oriental da costa cearense, inserido na margem equatorial brasileira e no domínio climático semiárido (SEMACE, 2016), como indica a Figura 4. Essa posição confere ao município uma relevância estratégica para estudos costeiros

Figura 4: Localização geográfica do município de Icapuí-CE



Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

Segundo a prefeitura de Icapuí (2023), outrora a região era chamada de Vila "Caiçara", que significa 'cerca de galhos', remetendo ao método de proteção as ocas e as tribos indígenas contra desbravadores. O município mudou sua toponímia para Icapuí, termo derivado de "Iguarapuí", que significa "coisa ligeira" no ano de 1943 (IBGE, 2022). Até então a região compunha ao município de Aracati-CE, sendo desmembrado Conforme dispõe a Lei nº 11.003, de 15 de janeiro de 1985, "fica criado o município de Icapuí, desmembrado do de Aracati" (CEARÁ, 1985, p. 1). Ao longo do litoral há diversidade quantos às feições geomorfológicas, possuindo praias arenosas, dunas, falésias e manguezais.

3.2 Uso e Ocupação do Litoral

O município de Icapuí apresenta um padrão de ocupação costeira predominantemente associado a pequenas comunidades litorâneas, historicamente estruturadas a partir da pesca artesanal, da mariscagem e de atividades extrativistas complementares, como a coleta de crustáceos e moluscos em ambientes estuarinos e praias (IBGE, 2022; Scherer, 2013). A população do município distribui-se majoritariamente em vilas costeiras, como Redonda, Barreiras, Requenguela e Peroba, onde a proximidade com o mar desempenha papel central na organização do espaço, nas relações de trabalho e nas práticas culturais locais. Essas comunidades mantêm forte vínculo com a faixa de praia, utilizada não apenas como espaço produtivo, mas também como área de convivência social, lazer e identidade coletiva.

Nas últimas décadas, observa-se uma diversificação dos usos do litoral, impulsionada pelo crescimento do turismo de pequena e média escala, pela expansão de residências secundárias e pela instalação de equipamentos urbanos e serviços associados à atividade turística (Lima, 2017; Marino et al., 2016). Esse processo ocorre de forma heterogênea ao longo da costa, coexistindo áreas com ocupação tradicional e setores com maior adensamento construtivo, sobretudo nas praias com maior acessibilidade e atratividade paisagística. De modo geral, o uso do solo costeiro em Icapuí reflete uma combinação entre práticas tradicionais de subsistência, economia local baseada no mar e transformações recentes associadas à urbanização e à valorização imobiliária do litoral.

3.4 Influência climática e oceanográfica

O clima local é classificado como tropical quente semiárido brando, com chuvas concentradas entre março e maio, período em que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua mais fortemente sobre a região (FUNCEME, 2017). A precipitação média anual gira em torno de 950 mm, distribuída de forma bastante irregular (Rabelo et al., 2023). Os ventos alísios de leste, que sopram durante praticamente todo o ano, apresentam velocidades médias de ~3,7 m/s no período chuvoso e ~8 m/s na estação seca, o que contribui para a formação e migração de campos dunares, além de potencializar o transporte eólico de areia (Sales et al., 2018).

No que diz respeito à oceanografia, o litoral de Icapuí é submetido a um regime de marés semidiurnas de mesoamplitude, com média de 2,6 m e sizígia em torno de 3,1 m (Sales et al., 2018). A ação das ondas é dominada por sistemas vindos de leste, com alturas significativas modais de 1,0 a 1,5 m, e esporadicamente influenciada por swell de nordeste durante o verão boreal. Essa incidência oblíqua favorece a formação de correntes longitudinais intensas para oeste, responsáveis por um transporte litorâneo líquido de grande magnitude (10^5 – 10^6 m³/ano) ao longo da costa cearense (Sales et al., 2018).

Em consequência disso o balanço sedimentar da região é condicionado por um forte déficit de aporte fluvial devido ao clima semiárido e pela interação entre falésias, dunas, marés e correntes litorâneas (Maia, Morais & Pinheiro, 2020). A plataforma interna de Icapuí funciona, em alguns setores, como fonte adicional de sedimentos para a praia, um processo comparável ao observado em costas semiáridas de outras partes do mundo, como a África do Sul (KwaZulu-Natal/Eastern Cape) e a Austrália Ocidental, onde dunas de bypass e depósitos carbonáticos desempenham papel semelhante no fechamento do orçamento sedimentar (Sales et al., 2018; Barros, 2024).

3.5 Geologia

O município de Icapuí está inserido no contexto geológico da margem continental nordeste brasileira, com destaque para a presença das formações sedimentares do Grupo Barreiras, de idade Miocênica, que afloram extensamente ao longo do litoral leste do Ceará. Essas unidades são constituídas predominantemente por arenitos, argilitos e conglomerados pouco consolidados, sendo responsáveis pela formação de falésias ativas que caracterizam trechos expressivos da paisagem costeira local (Rossetti & Góes, 2000; Morais, Maia & Pinheiro, 2006). Associados a esses depósitos continentais ocorrem sedimentos quaternários de origem marinha e eólica, representados por terraços marinhos holocênicos, cordões arenosos e campos de dunas, cuja gênese está relacionada às variações do nível relativo do mar ocorridas ao longo do Quaternário recente (Angulo et al., 2006; Maia et al., 2020).

Além disso, estudos recentes indicam que a plataforma continental interna adjacente ao litoral de Icapuí apresenta depósitos mistos terrígenos-carbonáticos, com contribuição significativa de bioclastos, rodólitos e fragmentos carbonáticos,

os quais desempenham papel relevante na dinâmica sedimentar costeira e na reposição parcial de sedimentos para as praias (Sales et al., 2018; Barros, 2024). Essa configuração geológica diferencia o litoral de Icapuí de outros setores do Ceará, onde o aporte sedimentar marinho é mais restrito devido à baixa descarga fluvial atual.

3.3 Características morfológicas

Segundo Rossetti e Góes (2000) e Moraes, Maia e Pinheiro (2006), as falésias do Grupo Barreiras, de idade Miocênica, constituem uma das principais feições da morfologia costeira do Ceará, sendo particularmente expressivas em Icapuí, onde originam paisagens como Ponta Grossa, Redonda e Peroba. Estas falésias apresentam forte dinâmica erosiva, sujeitas a processos de incisão basal, com queda de blocos e retrabalhamento marinho (Rabelo et al., 2023). Associados a estas ocorrem campos dunares móveis e semifixos, planícies de maré extensas e depósitos holocênicos de terraços marinhos e cordões arenosos, além da presença de sistemas estuarinos com manguezais, como em Requenguela (Sales et al., 2018).

Estudos sedimentares recentes em Ponta Grossa mostram que a plataforma interna adjacente à região é composta por depósitos misto-terrígenos carbonáticos, com contribuição marinha relevante de bioclastos, rodólitos que influencia a reposição sedimentar das praias (Barros, 2024). Essa característica diferencia Icapuí de outros trechos do litoral cearense, onde o aporte terrígeno costuma ser mais restrito devido à baixa descarga fluvial atual (Maia, Moraes, Pinheiro, 2020).

3.6 Erosão costeira

A erosão costeira é um dos principais problemas ambientais do litoral de Icapuí. Setores urbanizados, como Redonda e Peroba, apresentam recuos acelerados da linha de costa, com taxas anuais entre 2,7 e 6,5 m, segundo análises recentes de séries históricas de variação da linha de costa com *DSAS* (Chacanza et al., 2022; Chacanza et al., 2023). Esses processos se intensificaram após 2015, indicando uma tendência de retrogradação acentuada. O avanço do mar e o colapso de falésias em áreas como Peroba têm levado à

implementação de medidas emergenciais, como enrocamentos e pequenas obras de contenção, embora muitas vezes de eficácia limitada (SEMA-CE, 2025).

Pode-se dizer que, a vulnerabilidade costeira de Icapuí é fruto da combinação de fatores naturais, como a elevada energia de ondas e correntes, mesomares somado à baixa reposição sedimentar, e também antrópicos, como a ocupação desordenada à beira-mar. Esse quadro insere o município em um contexto global de litorais semiáridos sujeitos a forte desequilíbrio sedimentar, à semelhança de ambientes costeiros na África do Sul e no Golfo da Califórnia, onde a baixa contribuição fluvial e a alta energia de ondas produzem cenários erosivos comparáveis (Sales et al., 2018; Barros, 2024).

3.7 Valoração Ambiental

A valoração ambiental consiste em um conjunto de abordagens teóricas e metodológicas voltadas à estimativa do valor econômico associado aos bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas. Essa perspectiva surge como resposta à limitação dos sistemas econômicos tradicionais em incorporar os benefícios ambientais que não são transacionados diretamente no mercado, mas que sustentam o bem-estar humano e a funcionalidade dos sistemas socioecológicos (Pearce & Turner, 1990; Costanza et al., 1997). Ao atribuir valores monetários a esses benefícios, a valoração ambiental busca tornar visíveis os custos da degradação ambiental e subsidiar processos de tomada de decisão, planejamento territorial e formulação de políticas públicas.

No contexto da gestão ambiental, a valoração não se propõe a “precificar a natureza” em sentido absoluto, mas a fornecer estimativas comparáveis que permitam avaliar trade-offs entre diferentes usos do território e alternativas de intervenção. Dessa forma, a valoração ambiental atua como uma ponte entre o conhecimento ecológico e os instrumentos econômicos e institucionais de gestão, contribuindo para a internalização de externalidades ambientais frequentemente negligenciadas (Barbier et al., 2011; Scherer, 2013).

3.7.1 Serviços Ecossistêmicos e Ambientes Costeiros

Os serviços ecossistêmicos correspondem aos benefícios diretos e indiretos que os ecossistemas proporcionam à sociedade, incluindo funções de regulação, provisão, suporte/habitat e valores culturais. A classificação proposta

por De Groot et al. (2012) organiza esses serviços de forma integrada, relacionando processos ecológicos, funções do ecossistema e benefícios humanos, constituindo uma das bases conceituais mais utilizadas em estudos de valoração ambiental. Essa abordagem permite compreender os ecossistemas não apenas como conjuntos de elementos naturais, mas como sistemas funcionais que sustentam atividades econômicas, sociais e culturais.

Em ambientes costeiros, os serviços ecossistêmicos assumem papel particularmente relevante devido à elevada produtividade biológica e à intensa interação entre processos naturais e usos humanos. Praias, dunas, estuários e manguezais fornecem serviços de regulação fundamentais, como a dissipação da energia das ondas, a estabilização de sedimentos e a proteção da retaguarda continental contra eventos extremos. Além disso, esses ambientes sustentam serviços de provisão associados à pesca artesanal e a recursos costeiros, funções de habitat essenciais à biodiversidade marinha e serviços culturais relacionados ao lazer, ao turismo e à identidade social das comunidades costeiras (MEA, 2005; Barbier et al., 2011; Defeo et al., 2009).

A degradação desses ambientes, seja por processos naturais intensificados ou por pressões antrópicas, compromete o fluxo desses serviços, resultando em perdas ambientais, sociais e econômicas. Nesse sentido, a abordagem dos serviços ecossistêmicos oferece um arcabouço conceitual adequado para avaliar os impactos da erosão costeira, ao evidenciar que a perda física de sedimentos e feições geomorfológicas implica também a redução do capital natural e do bem-estar humano associado (De Groot et al., 2012; Muehe, 2018).

3.7.2 Transferência de Benefícios

O método de Transferência de Benefícios consiste na aplicação de valores monetários estimados em estudos prévios para contextos espaciais ou temporais distintos, sendo amplamente utilizado quando a realização de estudos primários de valoração é inviável devido a limitações de tempo, recursos financeiros ou disponibilidade de dados locais. Essa abordagem baseia-se na premissa de que ecossistemas com características semelhantes podem apresentar valores comparáveis de serviços ecossistêmicos, desde que sejam considerados ajustes

metodológicos e contextuais adequados (Brander et al., 2006; Johnston et al., 2015).

Em estudos costeiros, a transferência de benefícios tem sido empregada para estimar perdas econômicas associadas à erosão, à redução da largura de praias e à degradação de ecossistemas marinhos e estuarinos, utilizando bases de dados globais que sistematizam valores unitários por categoria de serviço e tipo de ecossistema. A Ecosystem Services Valuation Database (ESVD) constitui uma das principais referências nesse campo, reunindo centenas de estimativas padronizadas que subsidiam análises comparativas e aplicações em diferentes regiões do mundo (De Groot, Willemen & Brander, 2020).

Apesar de suas limitações, como a generalização de valores e a menor sensibilidade às especificidades locais, o método de Transferência de Benefícios é reconhecido como uma ferramenta robusta para análises exploratórias e de apoio à gestão ambiental. Quando aplicado de forma criteriosa, permite quantificar economicamente impactos ambientais, comunicar perdas de forma acessível aos tomadores de decisão e fortalecer argumentos em favor de estratégias preventivas e de conservação dos ecossistemas costeiros.

4 METODOLOGIA

A valoração ambiental é um procedimento metodológico que busca estimar, em termos monetários, os benefícios gerados pelos ecossistemas, permitindo traduzir impactos ambientais em informações quantitativas comparáveis e úteis ao processo de análise e tomada de decisão. No contexto costeiro, essa abordagem possibilita avaliar as perdas associadas à degradação dos ambientes naturais, especialmente aquelas decorrentes do recuo da linha de costa e da redução dos serviços ecossistêmicos. A partir dessa perspectiva, a valoração ambiental do litoral de Icapuí considerou os serviços ecossistêmicos diretamente associados aos ambientes costeiros.

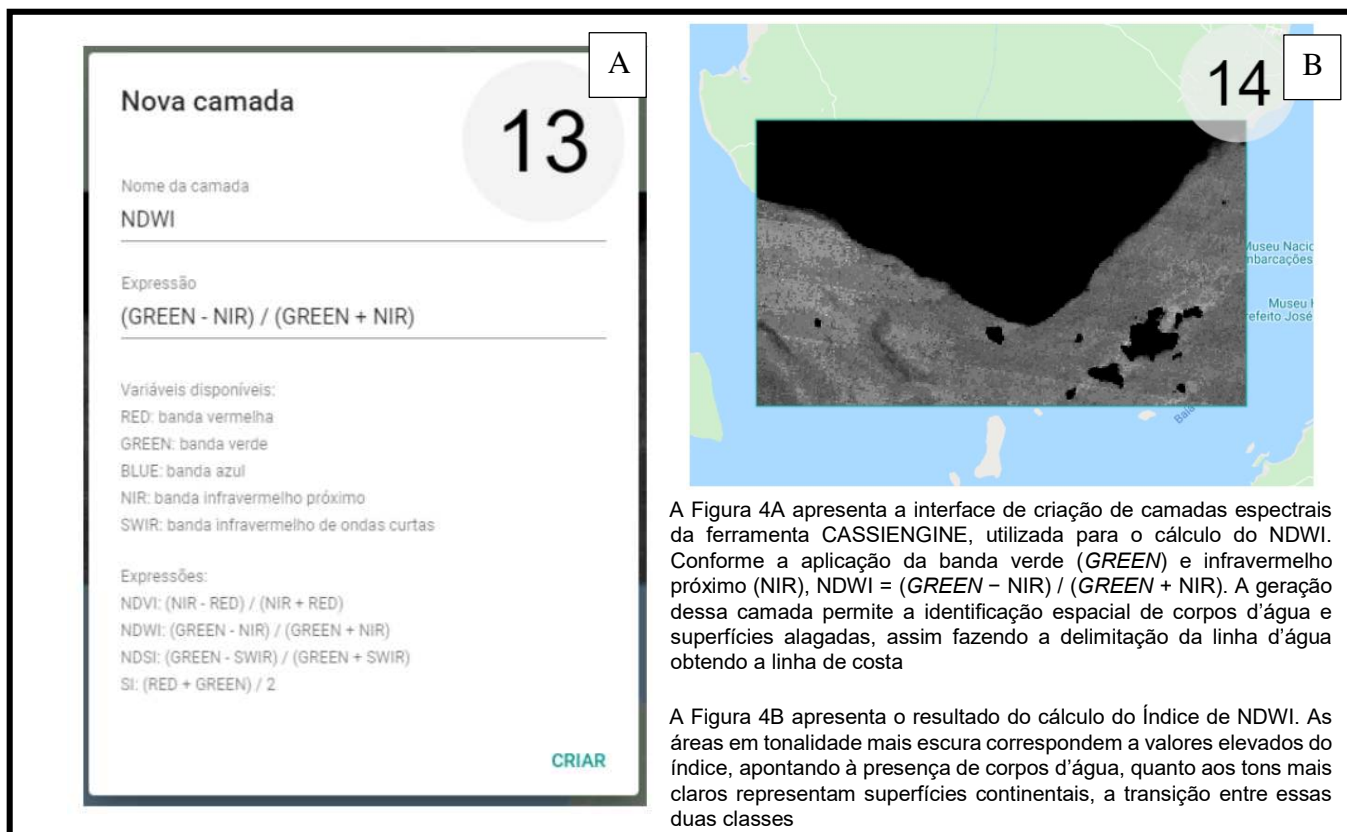
A intensificação dos processos erosivos no litoral de Icapuí, sobretudo em áreas como Redonda e Peroba, onde foram registradas taxas de recuo da linha de costa que variam de 2,7 a 6,5 m/ano (Chacanza et al., 2022; Chacanza et al., 2023; CEARÁ, 2025), evidencia a necessidade de instrumentos que permitam acompanhar de forma contínua e sistemática a dinâmica litorânea, em especial a variação da linha de costa. Nesse sentido, o uso de ferramentas baseadas em sensoriamento remoto surge como alternativa viável para compreender esta variação, subsidiando ações de gestão costeira.

A ferramenta para análise do balanço sedimentar em Icapuí foi o *CASSIE* – *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine*, um sistema *on-line* e gratuito (*open source*) desenvolvido sobre a infraestrutura do Google Earth Engine. Optar pelo CASSIE deve-se em parte pelo sistema operar totalmente em nuvem, diminuindo a necessidade de poder operacional do equipamento utilizado. Sua principal finalidade é a extração e monitoramento da linha de costa a partir de imagens de satélite, utilizando séries históricas Sentinel-2, o que foi utilizado neste trabalho, com imagens de 2020 a 2025.

O funcionamento da plataforma é baseado em algoritmos de detecção automática que aplicam o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), combinado ao limiar de Otsu, para discriminar áreas de terra e água, a partir dessa classificação, o sistema gera a linha de costa para diferentes períodos, permitindo análises temporais consistentes (Almeida et al., 2021). Ou seja, a ferramenta divide a imagem em continente e oceano, diferenciando o que é terra da água. A

partir da definição de múltiplas interfaces continente-oceano sendo geradas ano a ano, é definido se há avanço ou recuou da linha de costa, e a medição dessa variação foi o que definiu os transectos perpendiculares à ao litoral, ao longo dos quais são calculadas taxas de erosão ou acreção. Os resultados foram plotados em mapas e gráficos e exportados em planilhas eletrônicas para a visualização das estatísticas, conforme expõe a Figura 5.

Figura 5: Funcionamento da Ferramenta Cassiengine



CASSIE – Manual de uso básico: https://cassiengine.org/Manual_de_uso_basico.pdf

A aplicação do CASSIE foi realizada ao longo de todo o litoral, com transectos a cada 100 m entre si, de modo a representar adequadamente a variação espacial da linha de costa. A série histórica de imagens, no período de 2020 a 2025, o que permitiu quantificar o recuo médio anual, identificar intervalos críticos de retrogradação e relacionar tais padrões com os fatores oceanográficos e climáticos descritos anteriormente. Ao todo foram analisadas 35 imagens de diferentes datas dentro da linha temporal da pesquisa, as imagens obtidas pelo Sentinel-2, escolhidas a partir da posição da maré, tendo sido optado por a maré em torno de 2,5m, sendo essa amplitude de maré a mais recorrente no horário

de 12:53, para coincidir com a captura da imagem sobre Icapuí realizada pelo satélite.

A partir dos transectos gerados automaticamente pela ferramenta CASSIE, 430 transectos no total, sendo traçados perpendicularmente à linha de costa ao longo do litoral em Icapuí, garantindo uma cobertura homogênea da extensão analisada. A partir da posição temporal da linha de costa detectada em cada transecto, foi possível calcular a variação espacial do recuo/progradação. Em seguida, os polígonos formados entre a linha de costa de referência e a linha atual foram integrados para determinar a área total impactada no período analisado. O valor resultante, após a soma e conversão da área delimitada por todos os transectos, correspondeu a 0,89 hectares, valor que serviu de base para a aplicação do método de Transferência de Benefícios na valoração econômica dos serviços ecossistêmicos costeiros.

4.1 Valoração Ambiental

Na valoração ambiental do litoral de Icapuí foram considerados os serviços ecossistêmicos diretamente associados aos ambientes costeiros e marinhos, de acordo com a classificação global de De Groot et al. (2012) e a atualização da ESVD (2020). Os parâmetros analisados foram:

Regulação: serviços prestados pela praia estão associados à sua capacidade de dissipar a energia das ondas e estabilização de sedimentos. A faixa de praia atua como um amortecedor natural entre o oceano e o continente, reduzindo a intensidade da ação hidrodinâmica sobre ecossistemas e áreas urbanas.

Provisão: referem-se aos bens e recursos direta ou indiretamente fornecidos pela praia, incluindo o suporte à pesca artesanal, a disponibilidade de espaço para atividades econômicas costeiras e a manutenção de cadeias produtivas locais associadas ao uso da zona costeira.

Habitat: funções como ambiente de abrigo, reprodução e alimentação para organismos costeiros, além de sustentar processos ecológicos fundamentais como a ciclagem de nutrientes e a manutenção da biodiversidade.

Cultural: envolvem os valores recreativos, estéticos, simbólicos e identitários associados ao uso social do litoral, como lazer, turismo e bem-estar

humano. A praia constitui um espaço público de convivência e identidade cultural, sua integridade física e paisagística é parte propícia esses benefícios imateriais.

Os valores monetários foram estimados pelo método de Transferência de Benefícios, tomando como referência estudos internacionais de valoração ecossistêmica (De Groot et al., 2012; Costanza et al., 2014; De Groot; Willemen; Brander, 2020). Para adequação temporal, os valores foram corrigidos pelo *Consumer Price Index* (CPI-U) do *Bureau of Labor Statistics* para o ano de 2024 e posteriormente convertidos em reais (R\$) com base na taxa média anual de câmbio divulgada pelo Banco Central do Brasil para o ano de 2025. A área obtida a partir dos transectos gerados pelo CASSIE, serviu como base para o cálculo dos valores locais, garantindo a correspondência entre a função ecológica desempenhada pelos ecossistemas e sua expressão monetária. Assim, a metodologia adotada permitiu não apenas quantificar a relevância dos serviços ecossistêmicos, mas também destacar a centralidade dos serviços de regulação para a manutenção do equilíbrio costeiro e para subsidiar medidas de gestão em Icapuí.

Após a obtenção dos valores monetários dos serviços ecossistêmicos em termos unitários (R\$/ha/ano), cada categoria foi ajustada à realidade local pela multiplicação desses valores pela área efetivamente analisada, resultante dos transectos do CASSIE. Esse procedimento permitiu converter os valores de referência, originalmente expressos por hectare, em valores totais proporcionais à área estudada, garantindo a quantificação adequada dos serviços ecossistêmicos para o trecho costeiro de Icapuí.

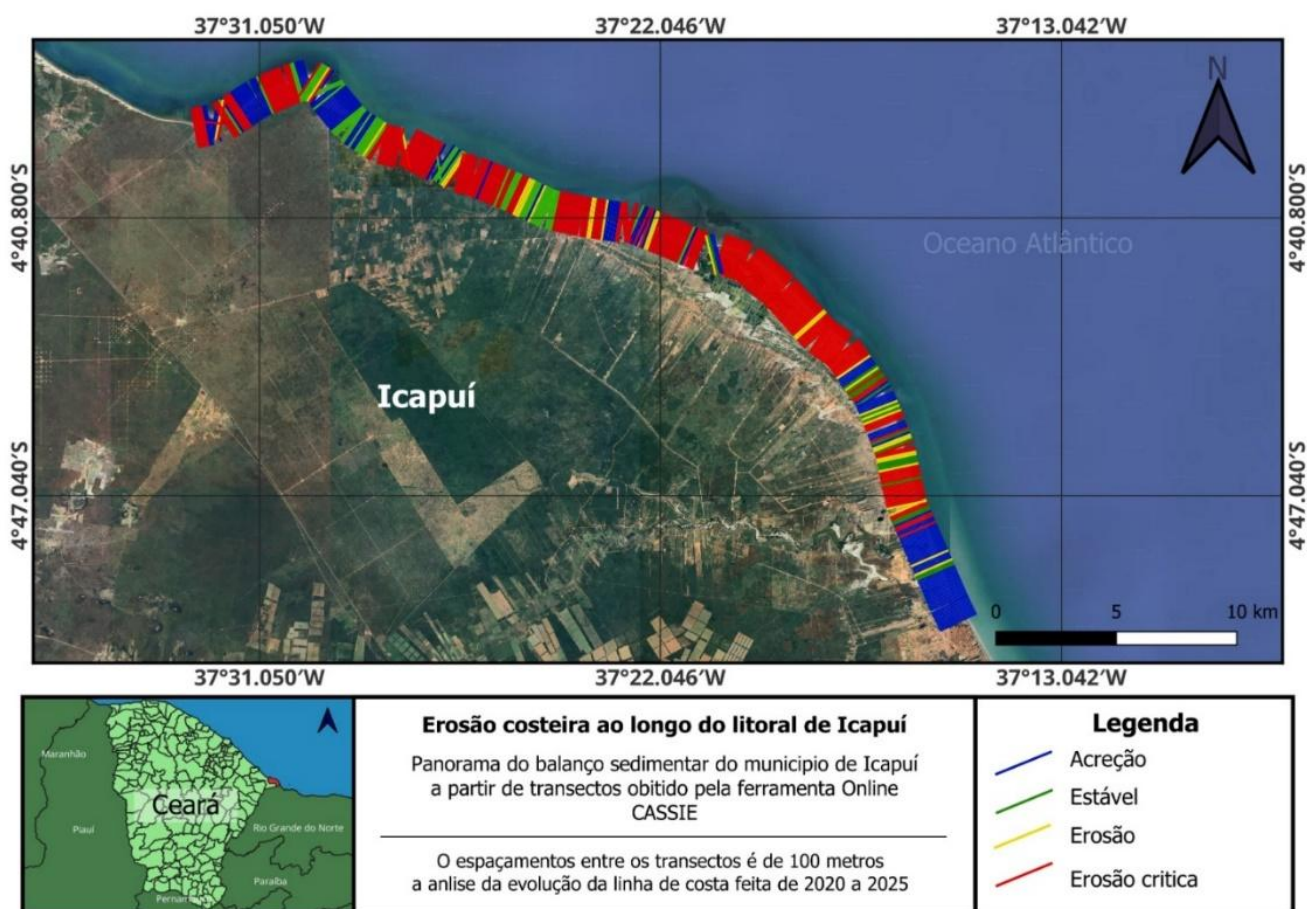
Os valores utilizados para valoração ambiental da erosão derivam de estudos globais e de bases secundárias o que implica em generalizações que podem não refletir com precisão as condições ecológicas, sociais e econômicas específicas de Icapuí. O método assume que os valores monetários por hectare são diretamente transferíveis, desconsiderando particularidades locais como a percepção da população, a pressão antrópica diferenciada ou as mudanças climáticas regionais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variação da linha de costa em Icapuí

A análise espacial da evolução da linha de costa evidencia um quadro de predominância erosiva ao longo do município (Figura 6). O mapa mostra uma maior concentração de transectos em vermelho, representando áreas de erosão crítica, distribuídas principalmente nos trechos de Redonda e Peroba, que se destacam como os principais *hotspots* de recuo na região.

Figura 6: Diagnóstico da dinâmica da linha de costa do litoral de Icapuí



Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

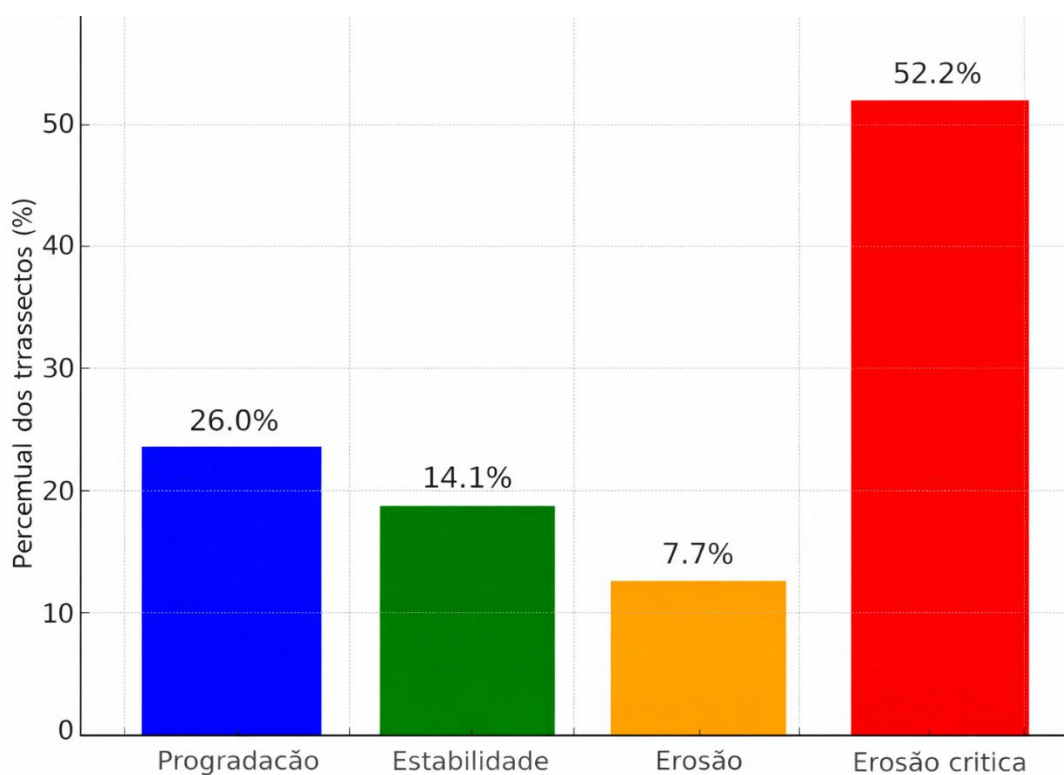
Esses resultados confirmam a vulnerabilidade já associada a essas localidades, em especial Peroba e Picos, que assim como no Plano de Ações de Contingência para Processos de Erosão Costeira (PCEC) no Estado do Ceará, estão classificadas como altamente vulneráveis, onde o avanço do mar tem resultado em impactos significativos sobre falésias, edificações e infraestruturas próximas à linha de praia. Apesar do predomínio de erosão, o mapeamento também revela a existência de áreas classificadas como estáveis (verde) e, em

menor proporção, de progradação (azul). Esses trechos ocorrem de forma pontual e estão associados a condições locais de maior disponibilidade sedimentar, como setores de Requenguela e Ponta Grossa, onde a presença de deltas de maré, dunas e promontórios favorece o acúmulo de areia. Isso mostra que, mesmo em um contexto predominante de recuo, ainda há processos de avanço da linha de costa decorrentes da deposição sedimentar.

A distribuição dos transectos feitas pelo CASSIE de forma automática se deu no sentido leste oeste, como o ID-01 estando localizado no extremo leste do município, já na fronteira com o estado do Rio Grande no Norte, configurando assim a realização da leitura da direita para a esquerda. A Tabela 1 mostra a correspondência entre os transectos e as localidades do litoral de Icapuí.

Quanto ao caráter qualitativo dos transectos, estão divididos por classes de acordo com a variação do balanço sedimentar, distribuídos conforme mostra o Gráfico 02, a seguir:

Gráfico 1 – Distribuição percentual dos transectos por classe (2020-2025)



Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

Do ponto de vista quantitativo, os 430 transectos analisados apresentam uma distribuição que evidencia um cenário preocupante de vulnerabilidade costeira no município. A maior parcela, correspondente a 52,2%, enquadra-se na

categoria de erosão crítica, caracterizada por recuos da linha de costa superiores a 0,5 m, o que representa pouco mais da metade do litoral municipal sob condições de elevada instabilidade. Em contrapartida, 26,0% dos transectos são classificados como áreas em progradação, indicando setores pontuais onde há avanço da linha de costa superior a 0,5 m.

Já os trechos considerados estáveis correspondem a 14,1% do total, abrangendo áreas onde não foram observadas variações significativas da linha de costa no período analisado, com valores entre 0 m e 0,5 m. Por fim, 7,7% dos transectos enquadram-se na categoria de erosão, com variações entre 0 m e -0,5 m, configurando um processo erosivo moderado que, associado às extensas áreas de erosão crítica, reforça o caráter emergencial do avanço do mar ao longo da costa de Icapuí.

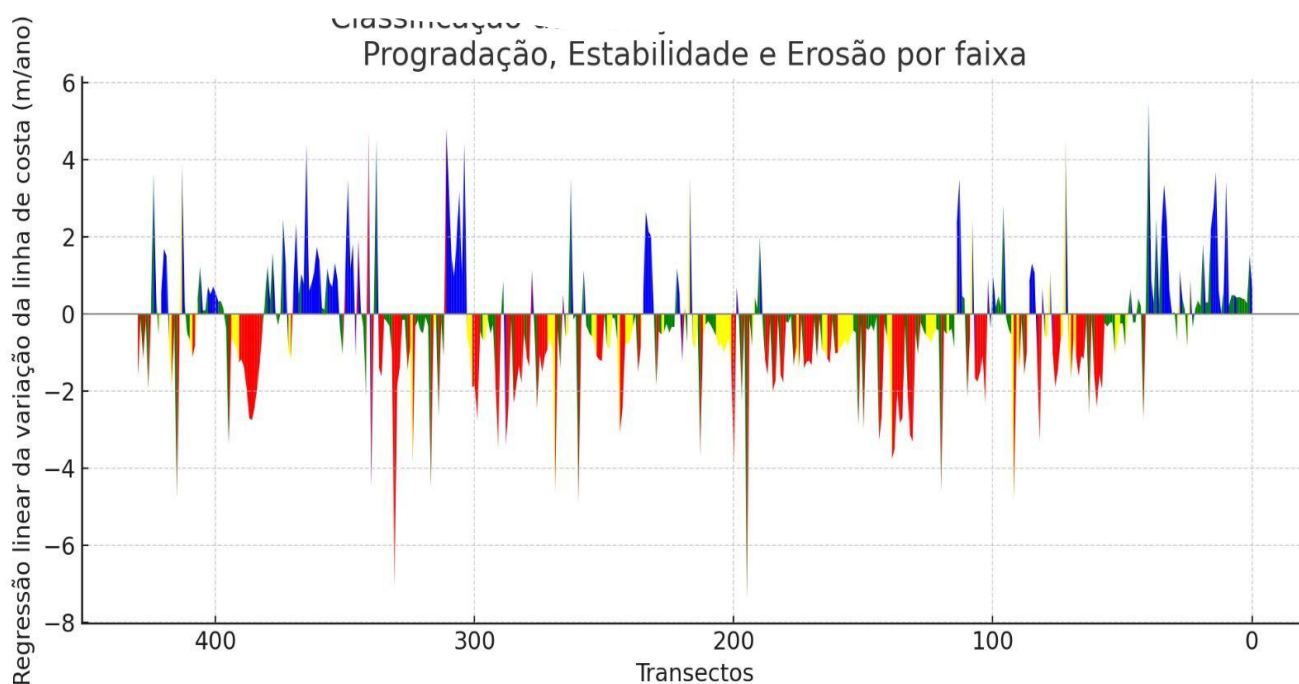
A distribuição apresentada na Tabela 1 reflete uma particularidade do processamento realizado pela ferramenta do Cassiangne, que operou em sentido inverso ao convencional para a leitura e numeração dos transectos. Diferentemente do padrão mais usual, em que a contagem se dá do Oeste para o leste, os transectos foram gerados e organizados no sentido leste-oeste, iniciando no extremo leste do município de Icapuí e avançando progressivamente em direção ao oeste. Essa inversão de orientação explica a correspondência entre as faixas numéricas dos transectos e as respectivas praias, sendo fundamental para a correta interpretação espacial dos resultados e compreensão do Gráfico 3 a seguir e as demais figuras.

Tabela 1 - Correspondência dos transectos às praias de Icapuí

Faixa de transectos	Localização aproximada
69-0	Melancias/Tremembé
149-70	Quitérias
249-150	Requenguela / Barreiras
349-250	Peroba/Redonda
430-350	Retiro Grande / Ponta Grossa

Fonte: autoria própria

Gráfico 2: Classificação da Variação da Linha de Costa (LRR)

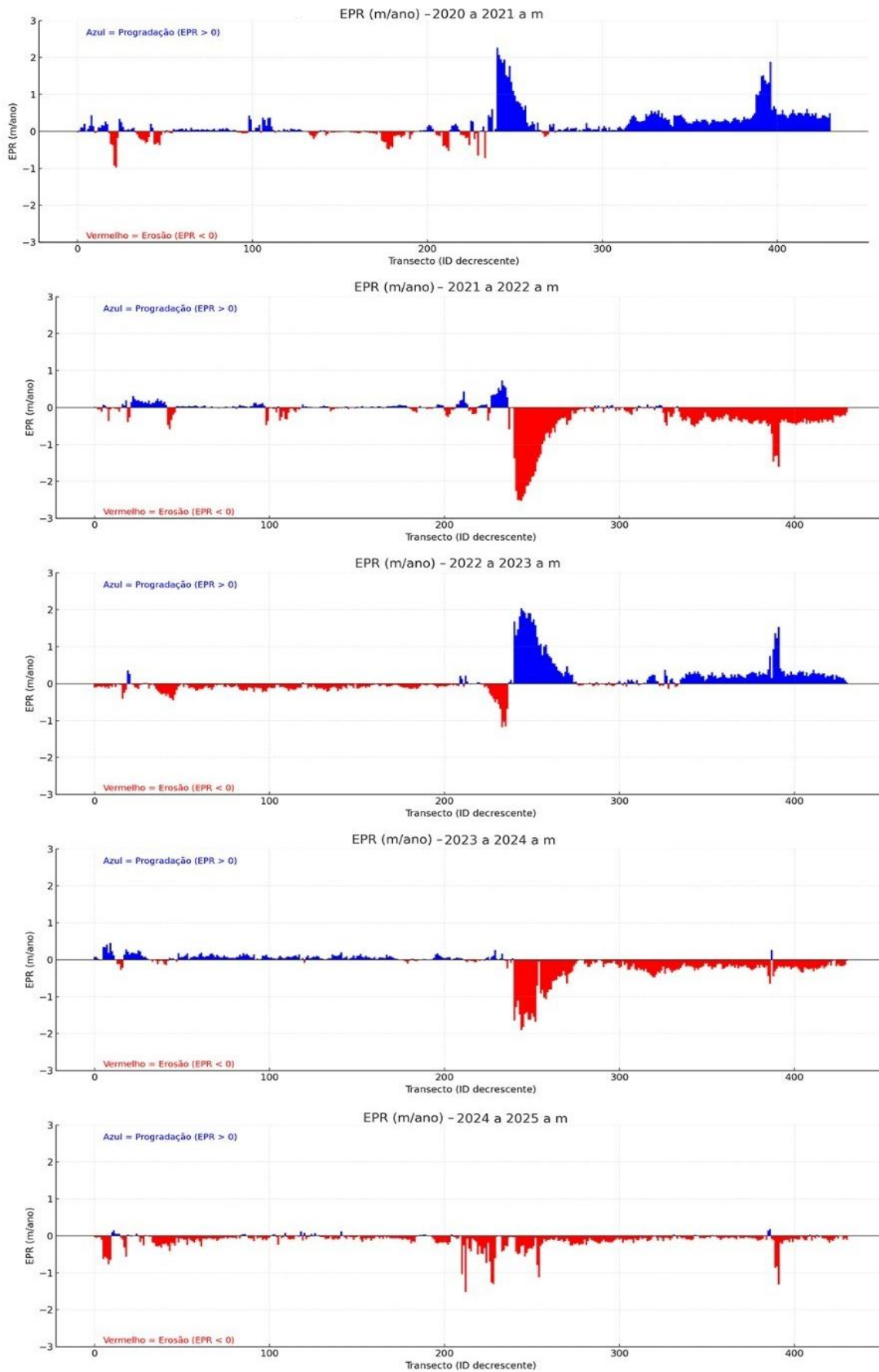


Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

A taxa LRR (*Linear Regression Rate*), que integra as tendências anuais, correspondente a data do estudo, do ano de 2020 ao início de 2025, indicando que a erosão como uma tendência progressiva na linha do tempo. A maioria dos transectos apresenta valores negativos, com exceção de pequenos trechos em progradação, principalmente em transectos correspondentes às áreas próximas à Requenguela e à extremidade de Ponta Grossa. Nesses pontos o acúmulo de areia indica avanço da linha de costa, embora minoritários, mostram a influência de condições geomorfológicas locais, como promontórios e deltas de maré, que funcionam como zonas de retenção sedimentar e favorecem processos de progradação da linha de costa.

Os gráficos de EPR (*End Point Rate*), apresentados no Gráfico 4, expressam a taxa média de variação da linha de costa entre anos consecutivos no período de 2020 a 2025. Valores positivos representados em azul indicam progradação, enquanto valores negativos, expressos na cor vermelha, representam erosão ou recuo da linha de costa. A amplitude vertical das barras corresponde à intensidade da variação, expressa em metros por ano (m/ano).

Gráfico 3: EPR ano a ano (2020 a 2025)



Fonte: Elaborado pelo autor (Uchôa, 2025)

A dinâmica sedimentar em alguns pontos do litoral de Icapuí tem uma alta variação entre os anos, no período de 2020 a 2021, observa-se uma predominância de progradação, principalmente em dois conjuntos de transectos, 150–200 praias de Redonda e 380-430 praias de Ponta Grossa e Barreiras de Baixo, com taxas de até +2,5 m/ano, indicando um breve período de estabilidade ou deposição sedimentar. No entanto, há uma drástica inversão a partir de 2021–2022, quando há um aumento expressivo das taxas negativas, atingindo –2,5 m/ano em trechos centrais e orientais da linha de costa, especialmente nas praias de Redonda e Peroba.

O período 2022–2023 mantém esse padrão erosivo, embora com pequenas zonas de progradação isoladas, seguindo a dinâmica de erosão e deposição de sedimento comum da dinâmica costeira. Já nos intervalos 2023–2024 e 2024–2025, a erosão predomina em quase todos os trechos. As taxas permanecem negativas, chegando novamente a –2,5 m/ano em alguns setores, o que indica a consolidação de um déficit na reposição sedimentar. Os gráficos EPR expõe o caráter progressivo da erosão em Icapuí. Sendo um processo contínuo presente em grande parte do litoral do município de Icapuí. Caracterizando a região do litoral como vulnerável a erosão de forma crônica, carecendo de uma gestão costeira e intervenção que considerem o caráter erosivo de longo prazo que as Praias de Icapuí necessitam.

Ao analisar o gráfico de EPR e LRR lado a lado (Figura 7), é visível o comportamento heterogêneo da microdinâmica ao longo de sua extensão. Com diferentes fatores atuando de diferentes formas, com o balanço sedimentar sendo influenciado por processos geomorfológicos, hidrodinâmicos e sedimentares. Essa heterogeneidade se expressa no grau do processo de erosão e acreção, e também no tempo de ocorrência, assim possibilitando dentro da taxa de variação da linha de costa os setores mais resilientes aos processos erosivos para além da análise dos setores criticamente afetados

Figura 7: Comparação de EPR E LRR dividida em setores



Fonte: Autoria própria (Uchôa, 2025)

Embora heterogênea, ainda há a predominância do aumento do processo erosivo característico da costa do município de Icapuí, ao longo dos anos, acumula um desgaste da orla, perdendo terreno arenoso, sendo chamado de avanço do mar. No contexto da área de estudo, esse processo chegou a níveis críticos, colocando a cidade em aleta crítico erosão. Ao longo da duração do estudo, a estimativa de perda de área de praia, realizada através dos transectos, espaçados a uma distância de 100m entre si medindo o recuo/avanço da linha de costa entre cada transecto. A somatória resultou no total de 0,89ha de perda na faixa de areia ao longo da duração do estudo. Ou seja, mesmo com períodos de progradação acentuada e área de recuo da linha de costa, o processo da erosão ainda predomina.

5.2 A Valoração

Os resultados obtidos indicam que a erosão costeira em Icapuí ocorre de forma progressiva, cumulativa e contínua, com predominância de perdas da faixa de praia e de dunas ao longo do período analisado. Esse comportamento é consistente com o observado em outros trechos do litoral brasileiro como um processo crônico associado a déficits sedimentares persistentes e à intensificação da ação hidrodinâmica (Defeo et al., 2009; Muehe, 2018). A perda acumulada de área praial estimada neste estudo, ainda que intercalada por episódios localizados de progradação, reforça a interpretação de que o sistema costeiro se encontra em desequilíbrio, com tendência geral de recuo da linha de costa.

A redução estoque de sedimentos costeiros, como o que ocorre na costa de Icapuí implica impactos diretos sobre os serviços ecossistêmicos fornecidos por praias e dunas, especialmente aqueles relacionados à regulação física do sistema costeiro, como dissipação da energia das ondas, proteção da retaguarda continental e manutenção da estabilidade morfodinâmica (Barbier et al., 2011). Nesse sentido, os resultados observados para Icapuí corroboram estudos que apontam a erosão costeira como um fator de perda de capital natural, uma vez que a diminuição da largura praial reduz a capacidade do ecossistema de sustentar funções ecológicas e socioeconômicas essenciais (TEEB, 2010).

Além dos impactos físicos, a erosão costeira afeta diretamente as dinâmicas sociais e econômicas locais, sobretudo em municípios onde a praia desempenha papel central como espaço de trabalho, lazer e identidade cultural. Estudos sobre ecossistemas praias ressaltam que a degradação progressiva desses ambientes compromete atividades como pesca artesanal, turismo de pequena escala e uso recreativo, intensificando a vulnerabilidade das comunidades costeiras (Defeo et al., 2009; Scherer, 2013). Em Icapuí, essa realidade é evidenciada pela dependência histórica da população local em relação à faixa de praia, cuja redução contínua tende a ampliar conflitos de uso e a pressão por intervenções artificiais.

A abordagem de valoração ambiental por transferência de benefícios adotada neste estudo está alinhada com práticas utilizadas em avaliações realizadas por Brander et al. (2006), Ghermandi et al. (2010) e Johnston et al. (2015). Na literatura é útil para estimar perdas econômicas associadas à degradação de ecossistemas costeiros, especialmente quando a obtenção de valores primários locais é inviável (Barbier et al., 2011; TEEB, 2010). Ao aplicar valores unitários aos serviços diretamente afetados pelo recuo da linha de costa, os resultados permitem traduzir a perda espacial observada em termos monetários, evidenciando que a erosão não representa apenas um problema geomorfológico, mas também um impacto econômico recorrente sobre o fluxo anual de benefícios ecossistêmicos.

A predominância dos serviços de provisão, regulação e habitat/suporte entre aqueles mais afetados reforça a natureza sistêmica das perdas associadas à erosão costeira. A degradação desses serviços tende a gerar efeitos em cascata, reduzindo a resiliência do sistema costeiro e aumentando a dependência de soluções estruturais de alto custo (Muehe, 2018; TEEEB, 2010). Dessa forma, os resultados obtidos para Icapuí se inserem em um quadro mais amplo de vulnerabilidade costeira, no qual a erosão atua como vetor central de perdas ambientais, sociais e econômicas de longo prazo.

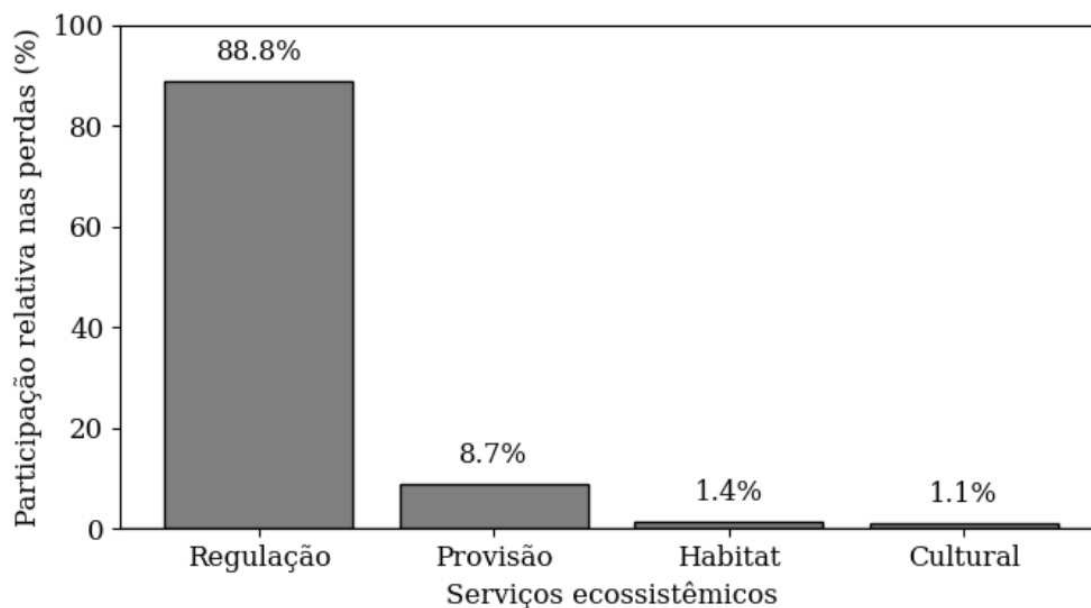
Cada porção de praia perdida implica em serviços ecossistêmicos perdidos, dentre os esses bens naturais, quatro tiveram porcentagens mais significativas expressas nos resultados. Os que apresentaram maiores valores foram os serviços de Provisão que são bens tangíveis fornecidos pelos

ecossistemas, como alimentação e recursos oriundos da zona costeira, A Regulação são as funções que estabilizam processos físicos, químicos e biológicos, estabilizando a dinâmica do ecossistema, os serviços de Habitat, ou serviços de suporte, que têm como função manutenção de ciclos ecológicos e da biodiversidade e também o serviço Cultural que é a relação das comunidades com o ambiente, e as interações que dessa conexão se originam.

Ao converter o resultado da área perdida utilizando o método de transferência de benefícios, os 0,89ha multiplicado pelos valores predefinidos e atualizados para a atualidade. A perda monetária estimada do processo erosivo par ao município de Icapuí é de R\$ 194.981,67/ano em serviços ecossistêmicos. Ou seja, a cada ano esse valor é pedido em serviços ecossistêmicos como proteção, provisão de recursos, lazer e suporte ecológico. Apesar de áreas em progradação da faixa de praia, quando considerado como um todo, a tendência na região é de erosão costeira. Ou seja, o valor tende a aumenta ano a ano. Sendo o valor monetário o correspondente em R\$ que poderia ter sido gerado em benefícios a cada ano, mas foi perdido em decorrência da erosão costeira.

O valor total pode ser dividido com base nas categorias dos serviços afetados, ordenados por grau de impacto. O Gráfico 5, divide os serviços afetados pela erosão em porcentagem afim de empregar um caráter qualitativo no espaço perdido.

Gráfico 4: Percentual dos serviços ecossistêmicos afetados no município de Icapuí.



Quando aplicados à tabela de De Groot, os valores são refletidos da seguinte forma:

Regulação: 88,8% → R\$ 173.071,09

Provisão: 8,7% → R\$ 17.026,24

Habitat: 1,4% → R\$ 2.714,33

Cultural: 1,1% → R\$ 2.170,01

O maior impacto recai sobre a categoria Regulação, sendo 88,8%, esse valor é refletindo a em degradação da função de proteção costeira de dunas e praias por processos erosivos, o que implica em uma intensa perda de faixa de praia no município estudado.

Quanto à Provisão a perda se dá através de bens ligados aos recursos costeiros. As categorias Habitat e Cultural mostram efeitos cumulativos sobre biodiversidade e a atividades recreativas.

Como o principal impacto está nos bens de regulação, que tem como papel a estabilidade da zona costeira, a diminuição esse serviço tende a crescer de

forma a se retroalimentar, como no caso de Icapuí a erosão é contínua, os demais serviços tendem a ter perdas comutativas sem a devida regulação do sistema.

Do ponto de vista da valoração, essas mudanças se traduzem em perdas (ou instabilidade) nos serviços de habitat/suporte, além de impactos sobre serviços de regulação e provisão, frequentemente discutidos em sínteses de serviços ecossistêmicos costeiros e estuarinos (BARBIER et al., 2011).

O comprometimento dos serviços ecossistêmicos de regulação ocorre quando a erosão costeira reduz a capacidade natural de praias, dunas e zonas entremarés de dissipar a energia das ondas, estabilizar sedimentos e proteger a retaguarda continental. A perda ou o rebaixamento dessas feições aumenta a exposição da costa à ação hidrodinâmica, intensificando processos erosivos e ampliando riscos de inundação e danos à infraestrutura e aos ecossistemas associados (Muehe, 2018). Do ponto de vista da valoração ambiental, a degradação desses serviços implica a substituição de funções naturais por obras artificiais de alto custo, além de gerar perdas cumulativas na estabilidade e resiliência do sistema costeiro (TEEB, 2010).

A situação de Icapuí pode ser vista como uma expressão dos processos da natureza, vendo a linha de costa é um *limiar móvel*, resultante das intervenções entre marés, ondas e ventos, estoques de sedimento e ocupação humana. Nesse sentido, a praia é um processo de devir, e quando a sociedade ocupa esse limiar com casas, hotéis, estradas, cria-se uma certa esperança de estabilidade de um sistema que é em sua definição, dinâmico. Logo, o problema da erosão pode ser explorado em um âmbito além do espacial. O uso da natureza pelo ser humano pode ser visto como um processo de metabolização, os serviços ambientais prestados são convertidos em forma de renda familiar, áreas de lazer, moradia, também abrigando a fauna e flora local. Tais meios de subsistência humana, por vez podem se traduzir na economia.

Os impactos da erosão costeira em Icapuí são recorrentes na imprensa local (Figura 8). Em maio deste ano foi declarada situação de emergência nos locais com erosão crítica.

Figura 8: Chamada de matéria divulgada no Jornal O Povo sobre a erosão em Icapuí publicada em maio de 2025.



Fonte: O Povo

Para lidar com o problema, optou-se pela instalação de obras de engenharia costeira. Contudo, a intervenção tem se demonstrado ineficaz com visíveis danos à estrutura, sobrelavagem em condições de ondas normais e agravado o processo de erosão a oeste. O espigão instalado na praia de Peroba levou ao acúmulo de um banco de algas à retaguarda da obra que tem causado mau-cheiro e afetado negativamente a infraestrutura turística no entorno (Figura 9).

Figura 9: Espigão instalado na praia de Peroba em Icapuí. Na imagem é possível identificar um ponto de quebra da estrutura e o banco de algas acumulado na parte interna da obra.

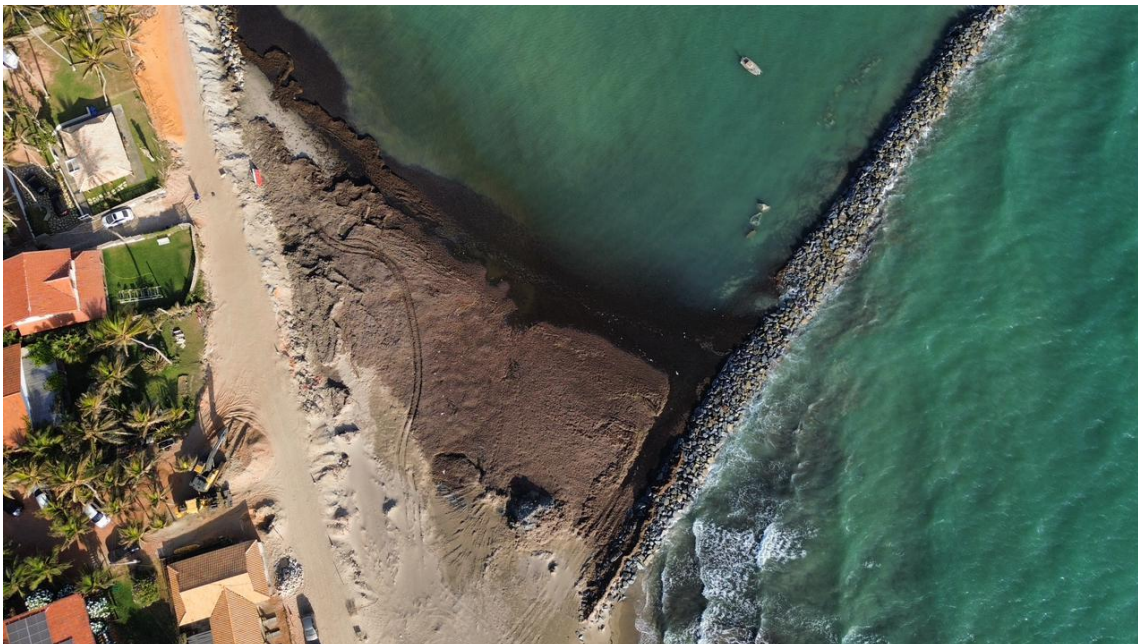
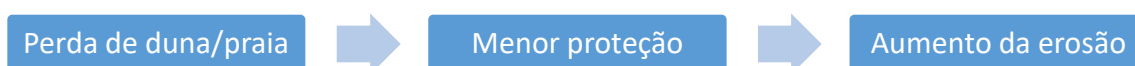


Foto: Prof. Paulo Sousa, arquivo pessoal (2024)

No contexto da área de estudo, o processo de erosão ocorre de forma progressiva e cumulativa, com perda recorrente de faixa de praia e dunas e diminuição do estoque sedimentar, afetando diretamente os serviços ecossistêmicos. A estimativa apresentada aponta 0,89 ha de faixa praial perdida e uma perda monetária de R\$ 194.981,67/ano em serviços ecossistêmicos.

O maior componente é Regulação (88,8%) = R\$ 173.071,09/ano, que reflete a perda dos serviços físicos de proteção costeira fornecido por praia e dunas, depois vêm Provisão (R\$ 17.026,24/ano), Habitat (R\$ 2.714,33/ano) e Cultural (R\$ 2.170,01/ano). Vale ressaltar que quando o serviço de regulação cai, o sistema tende a agravar o déficit.



Sendo assim os serviços de Regulação aparecem como prioridade quando se pensa em intervenção. Soluções baseadas na natureza para recompor o amortecedor costeiro, ou seja, a restauração e cerceamento de dunas, restauração da vegetação com espécies nativas, controle de trilhas de bugies.

Também há a possibilidade de recomposição sedimentar por meio da engorda artificial da praia acompanhada de manejo de dunas para reduzir perdas eólicas. Sendo a meta a recuperação do estoque e continuidade do sistema de transporte sedimentar praia–duna.

Na tentativa de mitigar os impactos nos serviços de Provisão e Cultural, a preservação da faixa de praia usada para trabalho e lazer, visando reduzir a vulnerabilidade comunitária com faixas de recuo (*setback*), uma medida de maior custo, quando possível, é realocação e adequação de estruturas em áreas críticas e ordenamento de usos, seguindo a lógica coerente com a lógica do Projeto Orla. A restauração de serviços ecossistêmicos de Habitat carece de atenção mais específica do que a estimativa de perda da faixa de praia, pois envolve mais ambientes-chave como as dunas, estuários e manguezais, bem como implementar zonas de proteção sazonal em trechos sensíveis como ninhos, berçários. O habitat funciona como infraestrutura ecológica de múltiplas partes que se integram, não que a erosão não afete esse serviço ecossistêmico, pelo contrário, a partir disso pode se dizer que a erosão costeira afeta outras áreas que não propriamente a praia.

Em vez de “conter o mar”, a gestão poderia “recompôr a capacidade do sistema” a partir de mais estoque sedimentar e espaço de acomodação. O valor estimado de R\$ 194.981,67/ano ajuda a traduzir essa perda como redução anual de bem-estar e proteção da comunidade local e da fauna e flora que lá residem, reforçando o caráter pragmático de intervenções que devolvam o serviço de regulação, e a partir disso os demais serviços, reduzindo custos sociais recorrentes no município.

6 CONCLUSÕES

A pesquisa em seu conjunto de resultados, foi realizada a partir de uma análise integrada da erosão costeira em Icapuí entre os anos de 2020 e 2025, efetivada a partir do uso de ferramentas de SIG e uma análise de valoração para entender o processo erosivo e seus custos. Observou-se que o processo de erosão costeira em Icapuí é bastante expressivo. Isto se reflete nas taxas de recuo encontrada com percentual de Erosão e Erosão Crítica de 59,9%, Estabilidade com 14,1% e progradação de 26%.

Conclui-se que a erosão costeira no município de Icapuí, ocorre de forma progressiva, com predomínio de recuo da linha de costa mesmo diante de episódios pontuais de progradação. A integração entre os índices EPR e LRR aponta que o processo erosivo em Icapuí constitui um fenômeno de longa duração, condicionado por fatores naturais e intensificado por pressões antrópicas. Essa dinâmica compromete diretamente a estabilidade geomorfológica da costa e reduz a capacidade natural de praias e dunas de exercerem funções essenciais de proteção costeira.

A incorporação da valoração ambiental ampliou a compreensão dos impactos da erosão ao demonstrar que a perda da faixa praial implica na redução contínua de serviços ecossistêmicos, sobretudo os serviços de Regulação (88,8%), mas também nos serviços de Provisão (8,7%), de Habitat (1,4%) e Cultural (1,1%). Os valores monetários estimados indicam que os prejuízos associados à perda desses serviços se acumulam anualmente, configurando um passivo ambiental de longo prazo para o município. A perda comutativa anual de R\$: 194.981,67 em bens e serviços ecossistêmicos.

Foi instalado um espigão na praia da Peroba ao custo de R\$ 5.724.664,43, segundo o Governo Municipal de Icapuí. Até o momento de finalização deste documento, em dezembro de 2025, não se mostrou eficaz e impactou negativamente a região ao propiciar o acúmulo de um banco de algas em sua área interna. O mau cheiro causado por este acúmulo tem gerado impactos negativos nos serviços turísticos localizados no entorno da obra.

Considerando também o aumento do nível do mar, associado às mudanças climáticas, tende a intensificar os processos erosivos nas próximas

décadas, reduzindo ainda mais a eficiência de soluções baseadas exclusivamente em engenharia pesada. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias de gestão costeira que ultrapassem respostas emergenciais e considerem a manutenção do capital natural como elemento central da adaptação costeira.

Em conclusão, o método mostrou-se interessante para valorar a erosão costeira em um município turístico e com ecossistemas preservados. As perdas se intensificam no momento em que o problema não é tratado de forma eficaz. Sugere-se que sejam realizados estudos para compreender melhor o processo de erosão na região com base em análises morfodinâmicas e hidrodinâmicas (ondas, correntes e marés) em associação com ações de educação ambiental junto aos atores costeiros para que sejam produzidos dados que subsidiem uma melhor gestão dos recursos naturais e financeiros do município.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E.; LYRA, R.; DAZZI, R. L. S. D. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): shoreline management module. *Environmental Modelling & Software*, v. 140, p. 105033, 2021. Disponível em: <https://cassiengine.org>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- ALVES, R. T. **Estudo da deriva litorânea em Fortaleza/Ce**. 2012. Trabalho acadêmico (ou dissertação/monografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: Repositório Institucional da UFC. Acesso em: 18 dez. 2025.
- ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, v. 25, p. 486–506, 2006.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. Séries temporais – Câmbio. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estatisticas/txcambio>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- BARBIER, E. B. et al. **The value of estuarine and coastal ecosystem services**. *Ecological Monographs*, v. 81, n. 2, p. 169–193, 2011.
- BARBIER, Edward B. et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, v. 81, n. 2, p. 169–193, 2011.
- BARROS, E. L. **(artigo em periódico)**. *Northeast Geosciences Journal*, 2023. (PDF disponível no portal de periódicos da UFRN). Acesso em: 18 dez. 2025.
- BARROS, E. L. Padrões sedimentares praia–plataforma em Ponta Grossa, Icapuí, Ceará. 2024. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.
- BARROS, J. S. Dinâmica eólica e disponibilidade sedimentar no litoral semiárido do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 1, p. 1–18, 2023.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Reconhecimento federal de situação de emergência – Icapuí/CE. Brasília: MDR, 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil. Brasília: MMA, 2010.
- BUREAU OF LABOR STATISTICS – BLS. *Consumer Price Index – CPI Databases*. Washington, 2024. Disponível em: <https://www.bls.gov/cpi/>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- CAVALCANTE, A. A. et al. Deriva litorânea e implicações morfodinâmicas no litoral do Ceará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 3, p. 567–585, 2019.
- CEARÁ (Estado). Secretaria do Meio Ambiente – SEMA. *Plano de Contingência para Falésias – Diagnóstico do município de Icapuí*. Fortaleza: SEMA, 2025.
- CHACANZA, M. S.; ARAÚJO, R. M.; SILVA, J. P.; et al. Temporal shoreline dynamics in Icapuí, Ceará. *Ocean and Coastal Management*, v. 236, p. 106421, 2023.

CHACANZA, M. S.; SILVA, J. P.; ARAÚJO, R. M.; et al. Shoreline change analysis at Redonda and Peroba beaches using DSAS. *Journal of Coastal Research*, v. 38, n. 2, p. 250-262, 2022.

CHACANZA, P. S. et al. Vulnerabilidade costeira no trecho entre as praias de Peroba e Redonda, município de Icapuí-CE, Brasil. *REGNE – Revista de Geografia do Nordeste*, v. 10, n. 2, p. 1–21, 2024.

CHACANZA, P. S.; PONTES, P. M.; FERREIRA, J. D. **Vulnerabilidade costeira no trecho entre as praias de Peroba e Redonda, município de Icapuí-CE, Brasil.** *REGNE – Revista de Geografia do Nordeste*, v. 10, n. 2, p. 1-21, 2024.

CHAPMAN, M. G.; UNDERWOOD, A. J. Evaluation of ecological processes in coastal habitats. *Ocean & Coastal Management*, v. 54, p. 459–468, 2011.

COSTANZA, R.; d'ARGE, R.; DE GROOT, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, p. 253-260, 1997.

COSTANZA, R.; de GROOT, R.; SUTTON, P.; et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, v. 26, p. 152-158, 2014.

DE GROOT, R.; BRANDER, L.; VAN DER PLOEG, S.; et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, v. 1, n. 1, p. 50-61, 2012.

DE GROOT, R.; WILLEMEN, L.; BRANDER, L. *Ecosystem services valuation database – ESVD update 2020*. Wageningen: Foundation for Sustainable Development, 2020.

DEFEO, O. et al. *Advances in sandy beach ecology*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 248, p. 1–15, 2021.

DEFEO, O. et al. Threats to sandy beach ecosystems: A global perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 81, p. 1–12, 2009.

ELLIOTT, M. et al. The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems*, v. 4, n. 5, p. 430–446, 2001.

EMBRAPA. **Geodiversidade do Estado do Ceará**. (Publicação técnica). 2014. Disponível em: Acervo Embrapa/ALICE. Acesso em: 18 dez. 2025.

ECOSYSTEM SERVICES VALUATION DATABASE – ESVD (2020). Version: December 2020. Relatório de atualização da base de dados de valoração de serviços ecossistêmicos. Disponível em: <https://www.es-partnership.org/esvd/esvd-download/esvd-version-december-2020/>. Acesso em: 28 de janeiro de 2026.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre o Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 149–160, 2005.

FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, R. A.; MAIA, L. P. **Ambientes costeiros do semiárido brasileiro: dinâmica, vulnerabilidade e mudanças climáticas.** *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 70, n. 1, p. 1–15, 2022.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS.

Climatologia do Estado do Ceará. Fortaleza: FUNCEME, 2017.

- HARLEY, M. D.** et al. Beach erosion and recovery dynamics under changing wave climates. *Marine Geology*, v. 443, p. 106–148, 2022.
- HARLEY, M. D. et al. Coastal erosion and shoreline change. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 3, p. 639–655, 2022.
- ICAPUÍ (CE). *Plano de Intervenção na Orla Marítima de Icapuí-CE (Projeto Orla/PGI)*. Secretaria do Meio Ambiente do Ceará. Disponível em fonte oficial. Acesso em: 18 dez. 2025.
- SINAGEO. *Erosão costeira no litoral leste do Ceará* (trabalho/anais). Disponível online. Acesso em: 18 dez. 2025.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais climatológicas do Brasil (1991–2020). Brasília: INMET, 2022.
- KOMAR, P. D. *Beach processes and sedimentation*. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.
- LIMA, A. R. *Erosão costeira e ocupação urbana no litoral do Ceará*. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- MAIA, L. P. et al. **Accelerated dune migration and aeolian transport during...** *Journal of Coastal Research*, 2005. Disponível em: JSTOR. Acesso em: 18 dez. 2025.
- MAIA, L. P. et al. Processos costeiros e balanço sedimentar no litoral do Ceará. *Revista de Geologia*, v. 18, n. 2, p. 25–40, 2005.
- MAIA, L. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Dinâmica costeira e evolução morfossedimentar do litoral setentrional do Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2, p. 245–263, 2020.
- MAIA, L. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Dinâmica costeira e evolução morfossedimentar do litoral setentrional do Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2, p. 245–263, 2020.
- MAIA, L. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Dinâmica costeira e evolução morfossedimentar do litoral setentrional do Nordeste brasileiro**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2, p. 245–263, 2020
- MARINO, M. T. R. D. et al. Urbanização costeira e erosão no Nordeste brasileiro. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 16, n. 4, p. 417–432, 2016.
- MCLACHLAN, A.; DEFEO, O.** *The ecology of sandy shores*. 3. ed. London: Academic Press, 2018.
- MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, J. O.; MAIA, L. P. **Campos de dunas e dinâmica eólica no litoral semiárido do Nordeste brasileiro**. *Geociências*, v. 40, n. 1, p. 87–104, 2021
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MEA. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- MORAIS, J. O.; MAIA, L. P.; PINHEIRO, L. S. **Aspectos geológicos e geomorfológicos do litoral do Ceará**. *Revista de Geologia*, v. 19, n. 2, p. 45–62, 2006.

MORAIS, J. O.; MAIA, L. P.; PINHEIRO, L. S. Aspectos geológicos e geomorfológicos do litoral do Ceará. *Revista de Geologia*, v. 19, n. 2, p. 45–62, 2006.

MUEHE, Dieter. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

NOBRE, C. A.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, n. 10, p. 2464–2479, 1996.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.

PINHEIRO, Lidriana de Souza et al. *The Beaches of Ceará*. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (eds.). *Brazilian Beach Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2016. Cap. 7, p. 175

PONTES, P. M.; FERREIRA, J. D.; CHACANZA, P. S. Variação espaço-temporal da linha de costa no litoral leste do Ceará: o caso de Icapuí. *Geociências*, v. 42, n. 1, p. 1–18, 2023.

QUEIROZ, L. S. et al. Longshore sediment transport and coastal erosion along the Ceará coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 38, n. 4, p. 789–803, 2022.

RABELO, M.; SANTOS, B. F.; FREIRE, G. S. S.; et al. Geossítios e processos costeiros ativos no litoral leste do Ceará: Ponta Grossa, Redonda e Requenguela. *Water*, v. 15, n. 12, p. 2187, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15122187>.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. **Marine influence on the Barreiras Formation, northeastern Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 71–91, 2000.

RULLENS, V. et al. Understanding the consequences of sea-level rise: ecological implications of reduced intertidal area. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2022.

SALES, V.; WANG, P.; CARVALHO, A. M. Interactions between headlands, beaches and dunes along the Ceará coast, northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 34, n. 6, p. 1313–1326, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-17-00065.1>.

SCHERER, M. E. G. *Gestão integrada da zona costeira no Brasil*. Florianópolis: UFSC, 2013.

SHORT, A. D.; JACKSON, D. W. T. Beach morphodynamics and coastal processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 45, n. 1, p. 38–65, 2020.

SILVA, A. C.; MORAIS, J. O.; MAIA, L. P. Erosão costeira no litoral do município de Icapuí–CE na última década. *Revista de Geologia*, v. 31, n. 2, p. 89–108, 2018.

SILVA, J. V. C.; MORAIS, J. O.; MAIA, L. P. **Falésias costeiras do litoral leste cearense: morfodinâmica e processos erosivos**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, p. 845–864, 2020.

SILVA, J. V. C.; MORAIS, J. O.; MAIA, L. P. **Mapeamento LiDAR das falésias costeiras do litoral leste cearense (Nordeste do Brasil)**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, p. 845–864, 2020.

SOARES, M. O. et al. **Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast: Conservation and sustainable use.** *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2021. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 18 dez. 2025.

SOARES, M. O. et al. Climate-driven shifts in sediment availability and coastal dynamics in Northeast Brazil. *Marine Geology*, v. 436, 106480, 2021.

TEEB. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The ecological and economic foundations.* London; Washington: Earthscan, 2010.

VITAL, H.; STATTEGGER, K. Major environmental changes in the tropical Brazilian shelf during the late Quaternary. *Geo-Marine Letters*, v. 20, p. 128–135, 2000.

VOUSDOUKAS, M. I. et al. Coastal erosion projections in a changing climate. *Nature Climate Change*, v. 10, p. 657–663, 2020

VOUSDOUKAS, M. I. et al. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, v. 10, p. 260–263, 2020.

BRANDER, L. M.; FLORAX, R. J. G. M.; VERMAAT, J. E. The empirics of wetland valuation: a comprehensive summary and a meta-analysis of the literature. *Environmental and Resource Economics*, v. 33, n. 2, p. 223–250, 2006.

GHERMANDI, A.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; BRONDÍZIO, E. S.; GOMES, C. P. Values of natural and human-made capital in coastal ecosystems: A meta-analysis. *Ecological Economics*, v. 69, n. 6, p. 1290–1301, 2010.

JOHNSTON, R. J.; ROLFE, J.; ROSENBERGER, R. S.; BROUWER, R. Benefit transfer of environmental and resource values: A guide for researchers and practitioners. Dordrecht: Springer, 2015.