

Universidade Federal de Alagoas

RELATÓRIO TÉCNICO DE ANÁLISE EVOLUTIVA DA LINHA DE COSTA EM AMBIENTE LITORÂNEO

2016 A 2025

ESTUDO DE CASO APLICADO À RESERVA
NACIONAL DO SURF - PRAIA DO
FRANCÊS, MARECHAL DEODORO - AL

Responsável: Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida

Engenheiro Agrimensor - UFAL

Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - UFPE

Doutor em Geociências - UFPE, com ênfase em Geologia Sedimentar e Ambiental

Líder do Grupo CNPq de Estudos Integrados ao Gerenciamento Costeiro - GEIGERCO/UFAL

Curriculum lattes: <http://lattes.cnpq.br/6048005080084638>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4678-9759>

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as alterações espaciais da linha de costa constituem um sério problema em todo o mundo, pois afetam praticamente todos os países com presença de litoral, podendo, em alguns casos, alcançar estágios bastante avançados. As repercussões econômicas, tais como a perda de infraestruturas públicas ou privadas, podem ser extremamente sérias, sobretudo nos países em desenvolvimento, devido à falta de recursos para a recuperação dos danos, como é o caso do Brasil. A erosão costeira é um fenômeno frequente e, quanto mais o litoral é ocupado, mais se acentua o problema, que cresce em magnitude e importância devido ao aumento do valor econômico das regiões costeiras e à forma que assume o desenvolvimento. Esse fenômeno, pela complexidade das interações entre os diversos fatores naturais e antrópicos, tem recebido, nos últimos tempos, maior atenção nas planificações das atividades de desenvolvimento e, principalmente, no ordenamento da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por esses fatores ou provocar a intensificação da erosão, gerando perdas para outros setores da costa adjacente (Maia, 2005).

Estudos envolvendo a determinação das taxas de recuo da linha de costa vêm sendo realizados desde a segunda metade do século passado, utilizando-se, para tanto, os mais diversos métodos (comparação cartográfica, medições diretas em fotografias aéreas verticais, medições periódicas em campo, técnicas fotogramétricas, utilização de imagens de satélite etc.), com o objetivo de obter previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa, considerando a degradação da zona costeira (Short; Trembanis, 2004; Calhaghan *et al.*, 2009). Essa situação é determinada, em grande parte, pela necessidade de novas infraestruturas e expansão urbana, bem como pelo desconhecimento do funcionamento dessa zona, dada a ausência de estudos detalhados dos processos que a regem.

Portanto, em estudos de monitoramento costeiro, a disponibilidade de imagens de sensores remotos de diferentes épocas transforma a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar os estudos geomorfológicos costeiros, ao ampliar informações pontuais de uma área para um contexto geográfico mais amplo, possibilitando o entendimento da história evolutiva desses sistemas (Trebossen *et al.*, 2005; Chu *et al.*, 2006).

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo determinar as taxas de recuo da linha de costa ao longo da zona litorânea compreendida pelos limites da Reserva Nacional de Surf Praia do Francês, identificada no item 2.1 deste relatório, associando os resultados obtidos aos processos dinâmicos pontuais em uma análise multitemporal, utilizando imagens de sensoriamento remoto (orbitais) associadas a técnicas de geoprocessamento.

1.2. Justificativa

As praias geralmente são um dos primeiros ambientes a sofrer as consequências das mudanças climáticas, especialmente quando ocorre a combinação entre a elevação do nível do mar e a maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (IH-Cantábria, 2018). Nesse sentido, a previsão de elevação do nível do mar é uma variável que deve ser considerada no prognóstico de variação da linha de costa, em decorrência dos processos erosivos e inundações que tendem a se intensificar com o aumento do descongelamento de geleiras e a tendência histórica de elevação da temperatura global (Muehe, 2004). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2022) inferiu que o aumento do nível do

mar até o final do século deverá ser o mais rápido entre todas as projeções já estudadas, podendo variar de 0,29–0,59 m a 0,61–1,10 m até o ano de 2100, o que deve influenciar diretamente a intensificação dos processos erosivos nas zonas costeiras.

Considerando a elevação do nível do mar e a intensificação de eventos tempestivos ao longo das regiões litorâneas, o litoral do estado de Alagoas tem evidenciado recuo da linha de costa em grande parte do seu território, ocasionando prejuízos econômicos devido à destruição de residências e infraestruturas. Diante desse cenário e da constatação da ocorrência de processos erosivos ao longo da região costeira objeto deste estudo, a adoção de metodologias para determinar as taxas de recuo da linha de costa constitui uma ferramenta essencial para o planejamento de ações mitigadoras e para subsidiar a tomada de decisões acerca do uso e da gestão adequada da zona costeira em questão.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a região da Reserva Nacional de Surf, localizada na praia do Francês, ao sul do estado de Alagoas, no município de Marechal Deodoro (Figura 1). Abrange aproximadamente 3,38 quilômetros de linha de costa, sendo delimitada pelo retângulo envolvente definido pelas coordenadas planas UTM: N = 8.919.299,13 m, E = 188.393,27 m; e N = 8.916.273,77 m, E = 186.779,63 m, inseridas no fuso 25 Sul e ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000.

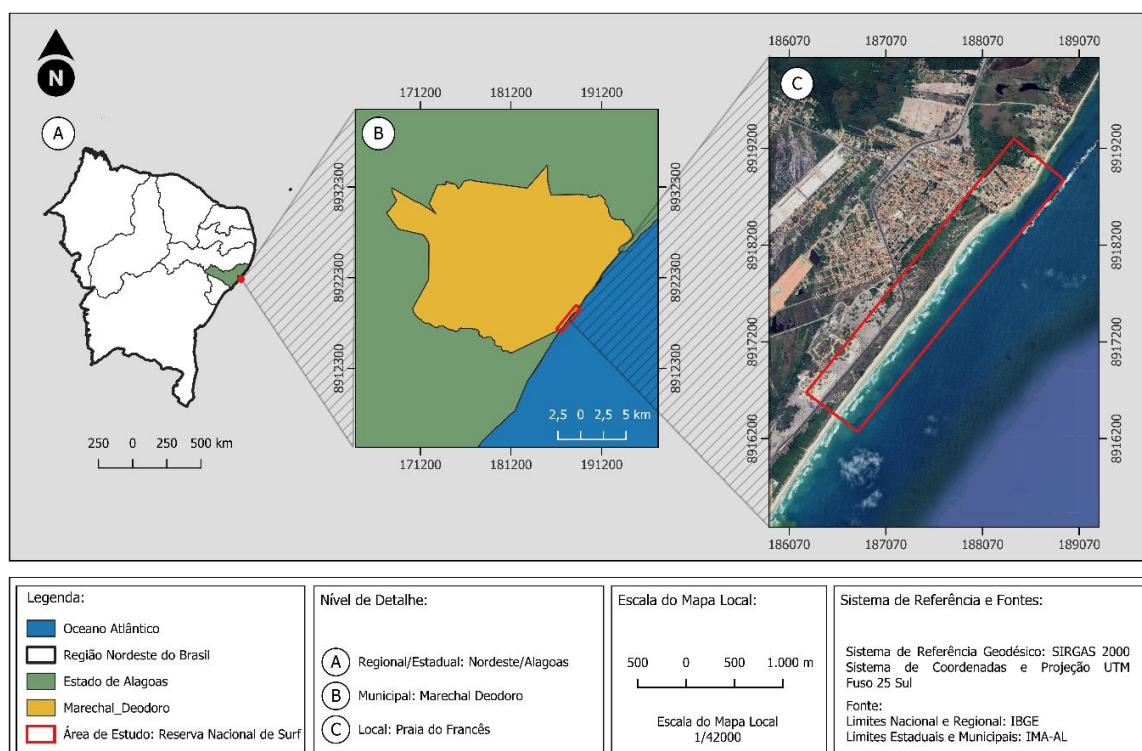


Figura 1: Localização da área estudo na praia do Francês, município de Marechal Deodoro, estado de Alagoas.

Quanto à tipologia, a praia apresenta-se ampla e bem desenvolvida, com características dissipativas e semi-protegidas, além da presença de extensos cordões arenosos (Figura 2).

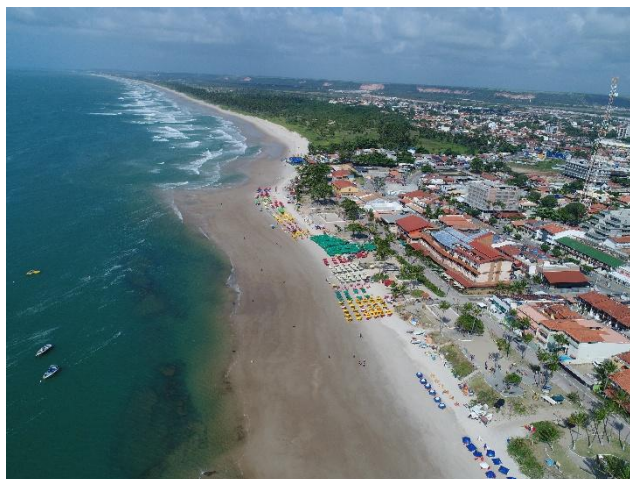


Figura 2: Vista à Nordeste da zona costeira disposta ao longo da Reserva Nacional do Surf. Em 23 de setembro de 2025.

Ao enquadrar a praia aos critérios de classificação relativos à estágios morfodinâmicos definidos por Wright e Short (1984) para praias arenosas dominadas por ondas, e por Short (2006) para praias bordejadas por plataformas rochosas ou recifais, pode-se dividir a zona costeira em duas zonas morfodinâmicas: Nordeste e Sudoeste.

Na porção Nordeste, a praia pode ser caracterizada como dissipativa e semi-protegida, apresentando baixa declividade e sedimentos com textura variando de fina a média. Ao adotar a definição de tipologias de praias proposta pelo Projeto Orla (2002), a porção Nordeste da zona costeira pode ser caracterizada como **semiabrigada e com urbanização consolidada**, apresentando um ambiente parcialmente protegido da ação direta das ondas durante os momentos de baixa-mar, com médio a alto adensamento de construções e população residente, paisagens antropizadas, multiplicidade de usos e alto potencial de poluição — sanitária, estética e visual.

Cabe destacar que os cordões arenosos estão ocupados, principalmente por loteamentos, casas de veraneios e hotéis, como pode ser visto na Figura 3, o que indisponibiliza os sedimentos costeiros ao transporte. Em conjunto, é possível observar que em momentos de marés de preamar de sizígia ou tempestivas, a ação das ondas restringe a face praial à porção subaérea mais interiorizada, ocorrendo, em determinados trechos, a submersão total da praia, atingindo diretamente os cordões litorâneos frontais, incorrendo em processos erosivos e recuo da linha de costa.



Figura 3: Praia arenosa semi-protegida (imagem à esquerda), com detalhe para urbanização consolidada (à direita). Em 29 de setembro de 2025.

Na porção Sudoeste (Figura 4), a vegetação litorânea apresenta uma variedade significativa de florestas; dentre outras, pode-se citar as às Formações de Praia distribuídos ao longo do litoral, composta por vegetação herbácea de restinga, arbustivas, subarbustivas e arbóreas, responsáveis pela fixação dos cordões arenosos.

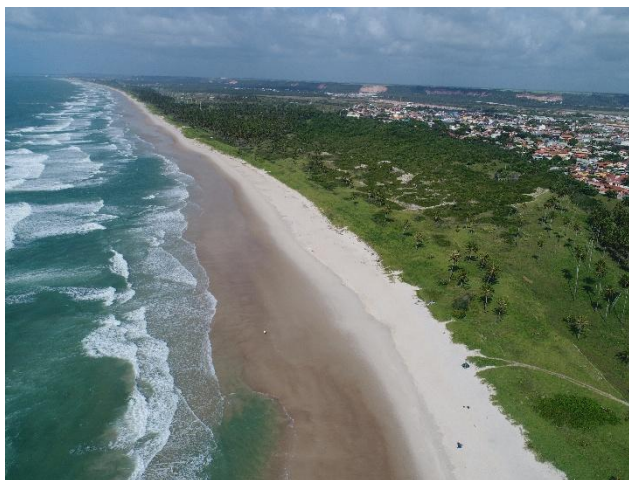


Figura 4: Vista à Sul da zona costeira disposta ao longo da Reserva Nacional do Surf. Em 23 de setembro de 2025.

Nas *Formações de Praia* (Figura 5), a vegetação de restinga caracteriza-se por ser densa e herbácea. Sua ocorrência tem início geralmente depois das cristas de berma, mais precisamente na pós-praia e são representados por poáceas, gramíneas, salsas de praia, capim de areia e psamófica herbácea alastrante. Segundo Ferreira (1999), caracteriza-se por receber influência direta das águas do mar, ocorrendo normalmente na faixa arenosa próxima ao litoral. É uma vegetação que próximo à linha de costa é de pequeno porte, normalmente rasteira, cuja principal espécie encontrada na área é o capim de areia.

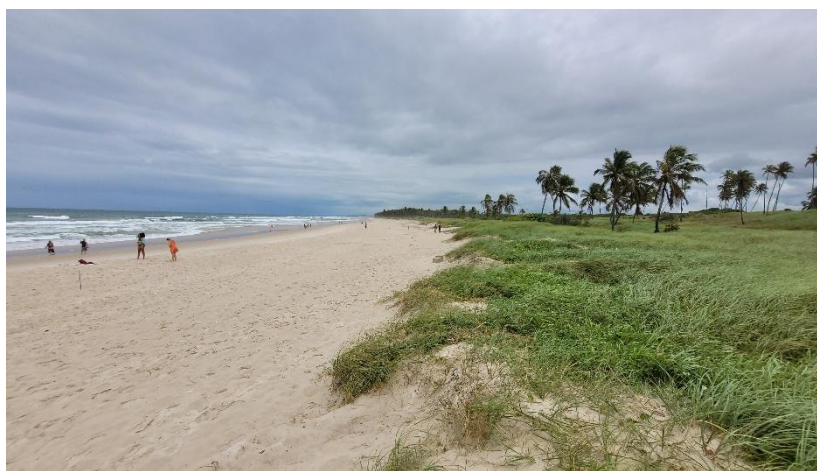


Figura 5: Disposição da vegetação de restinga à Sudoeste da Reserva Nacional do Surf. Em 23 de setembro de 2025.

Ao adotar a definição de tipologias de praias proposta pelo Projeto Orla (2002), a porção Nordeste da zona costeira pode ser caracterizada como **exposta não urbanizada**, caracterizando-se por ser um ambiente sujeito à alta energia de ondas, ventos e correntes com baixíssima ocupação, paisagens com alto grau de originalidade natural e baixo potencial de poluição.

No geral, as marés apresentaram amplitude e período que as enquadram no regime de micro e mesomaré semidiurna. Este tipo de maré caracteriza-se por apresentar duas preamares e duas baixa-mares no período de um dia lunar (24 horas e 50 minutos) (Araújo et al., 2005).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como As', apresentando a estação seca entre a primavera e o verão com chuvas e eventuais trovoadas de Norte e Noroeste, e às vezes de Nordeste. A estação chuvosa ocorre do outono ao inverno, com chuvas de março, vindas do Norte, e chuvas intercaladas no principal período (de abril-maio até junho-julho) vindas de Sudeste, com precipitação anual superior a 1500 mm (Alagoas, 2010).

Ao tratar da circulação dos ventos na região da área de estudo, Santos (2004), afirma que os ventos incidentes são os de quadrante E, sendo que os predominantes são do setor SE a S no intervalo de abril a agosto e do setor E a NE de setembro a março, sendo, portanto, convergentes à costa.

2.2 Identificação de Processos Erosivos

Ao tratar de evidências de erosão costeira na área de estudo, é importante definir este processo. De acordo com Van Rijn (2011), a erosão, pode ser definida como a perda permanente ou episódica do material arenoso do sistema praia-duna, tendo como consequência um recuo da linha de costa em direção ao continente. A perda de sedimentos praias pode estar condicionado aos seguintes fatores: dinâmica da circulação costeira (transporte litorâneo), estágio morfodinâmico da praia (com tendência erosiva), aporte sedimentar insuficiente ou ausente, armadilhas de sedimento (fossas naturais ou artificiais) e atuação de sistemas frontais e ciclones causando elevação do nível do mar (retirando sedimento da praia/das dunas e carregando) (Souza, 2009). Fatores antrópicos como a ocupação e uso inadequado do litoral e as obras portuárias associadas ao cenário atual de alterações climáticas também podem resultar em alterações no balanço sedimentar natural do ambiente e contribuir com a perda gradual (Souza, 2024).

Para identificação visual da ocorrência de processos erosivos ao longo da linha de costa, de forma qualitativa, foram utilizados geoindicadores propostos nos trabalhos de Souza *et al.* (2005); Souza (2009); Martins (2015); Martins *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2023), conforme Quadro 1. Segundo Martins *et al.* (2016), os “geoindicadores de erosão costeira” são apontados como uma alternativa para realizar avaliações do potencial risco de desastres naturais em áreas costeiras. Estes autores destacam ainda que tais indicadores “fornecem tendências que ajudam a entender os processos atuantes na costa”.

Quadro 1: Geoindicadores de erosão costeira.

INDICADORES	GEOINDICADORES DE EROSÃO
0	Nenhum dos geoindicadores.
I	Vegetação rasteira de duna ou restinga soterradas ou com raízes expostas (Praias urbanizadas ou não).
II	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia em associação com outras evidências erosivas (Praias urbanizadas ou não).
III	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem desenvolvimento de falésias (Praias urbanizadas ou não).

IV	Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação durante a preamar de sizígia ou em praias urbanizadas.
V	Árvores na face da praia ou com raízes expostas.
VI	Marcas de erosão na base de muros residenciais.
VII	Presença de obras de contenção costeira, não estruturais.
VIII	Obras estruturais de proteção costeira.
IX	Presença de falésias vivas com altura de até dezenas de metros em rochas sedimentares (Formação Barreiras) que bordejam as praias urbanizadas ou não.
X	Infraestrutura da orla danificada pela energia das ondas.
XI	Destruição de estruturas artificiais para a proteção costeira.

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2005); Souza (2009); Martins (2015); Martins *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2023).

2.3 Taxas de Variação da Linha de Costa

A classificação do estágio erosivo da praia com base nas Taxas de Variação da Linha de Costa foi realizada por meio da ferramenta *web Coastal Analysis System via Satellite Imagery Engine* (CASSIE). Desenvolvida por Almeida *et al.* (2021), essa ferramenta de código aberto, escrita em linguagem JavaScript, foi construída a partir da API do Google Earth Engine (GEE). Seu principal objetivo é mapear e analisar estatisticamente a dinâmica posicional da linha de costa utilizando imagens dos satélites Landsat 5 (1984-2011), Landsat 7 (de 1999 até o presente), Landsat 8 (de 2013 até o presente) e Sentinel-2 (de 2013 até o presente).

A detecção automática das linhas de costa no CASSIE ocorre por meio da aplicação do índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI) às imagens, combinada com um processo de limiarização binária dos valores resultantes. Esse método possibilita a separação entre água e terra, permitindo a digitalização precisa da posição da linha de costa em cada imagem analisada.

Para determinar as taxas de variação espaço-temporal da linha de costa, o CASSIE adota a abordagem utilizada pela extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), desenvolvida pelo *United States Geological Survey* (USGS) e dedicada ao *software* ArcGIS. O DSAS se baseia na análise da posição da linha de costa por meio de transectos, conforme proposto por Thieler *et al.* (2017). A ferramenta calcula um conjunto de análises estatísticas para cada transecto (Almeida *et al.*, 2021). Entre os métodos empregados para quantificar a variação da linha de costa, destaca-se o *Linear Regression Rate* (LRR), que estima o comportamento da posição da linha de costa em relação à linha de base ao longo da série temporal.

É importante ressaltar que a aplicação do CASSIE apresenta limitações uma vez que a correção das marés não é aplicada devido à ausência de modelos de maré ou conjuntos de dados disponíveis na plataforma GEE atualmente. No entanto, para ultrapassar esta limitação, Almeida *et al.* (2021) sugerem ao usuário selecionar imagens de datas com o mesmo nível de maré.

Para o estudo em questão, foram empregadas as seguintes etapas metodológicas e parâmetros:

a) O período analisado compreendeu o intervalo de 29 de janeiro de 2016 a 30 de julho de 2025, onde foram selecionadas as imagens do sensor Sentinel-2, visto apresentar

resolução espacial de 10 metros e ciclo de captura de 5 dias, superior às das constelações Landsat.

b) Na sequência, foi aplicação o filtro de cobertura de nuvens para uma ocorrência de 0%. Seguido do filtro manual para exclusão de imagens com nuvens que não foram identificadas no filtro automático.

c) Importação do arquivo de delimitação da área de interesse.

d) Definição da linha de base, que servirá como referência para a criação de transectos.

e) Indicação dos parâmetros de análise dos transectos: Espaçamento (100m); Extensão transversal à linha de base (500m); e o coeficiente de Limiar (0).

f) Classificação da estabilidade através da taxa de variação da linha de costa considerando os valores de LRR propostos por Esteves e Finkl (1998).

3. RESULTADOS

No que se refere ao uso dos geoindicadores de erosão costeira, foi possível observar e registrar em campo a ocorrência dos seguintes indicadores (Figura 5): (I) Vegetação rasteira de duna ou restinga soterradas ou com raízes expostas (Praias urbanizadas ou não); (V) Árvores na face da praia ou com raízes expostas; e (VII) Presença de obras de contenção costeira, não estruturais.



Figura 5: Acervo fotográfico dos geoindicadores de erosão costeira identificados no litoral da Reserva Nacional do Surf – Praia do Francês em 23 de setembro de 2025.

Ao tratar da taxa de variação da linha de costa para o litoral estudado, após a aplicação da metodologia proposta, foram obtidos 33 transectos perpendiculares à linha de base (Figura 6).

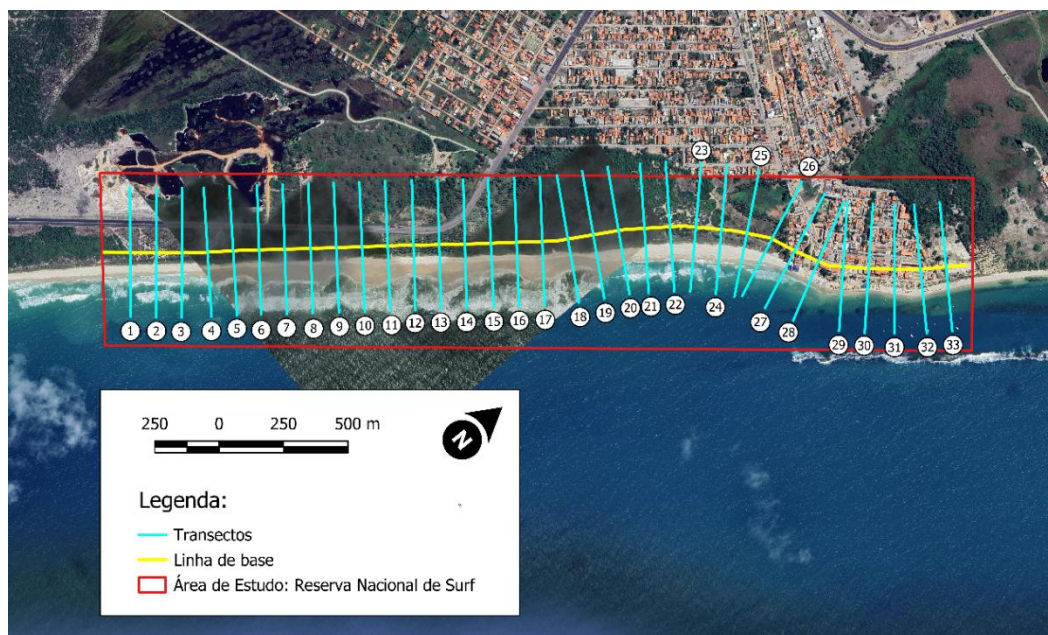


Figura 6: Indicação posicional das linhas de transectos dispostos longitudinalmente à linha de costa.

Com base na classificação proposta por Esteves e Finkl (1998) (Tabela 1), considerando os valores de LRR em metros/ano, foi constatado que dentre os 33 transectos, o de número 29 foi classificado com tendência a Erosão, enquanto os de número 13, 14, 30, 31 e 32 foram classificados com tendência a Estabilidade. Os demais transectos apresentaram tendência a Acresção. A Tabela 2 indica os valores da LRR, da NMS (Movimento da linha de costa) e a classificação dos transectos avaliados.

Tabela 1: Classificação com base na taxa de variação da linha de costa (valores de LRR).

Classificação	Taxa de variação da linha de costa com base na LRR (m/ano)
Acresção	> 0,5 m/ano
Estável	-0,5 a 0,5 m/ano
Erosão	-1 a -0,5 m/ano
Erosão severa	< -1 m/ano

Fonte: Esteves e Finkl (1998).

Tabela 2: Resultado das taxas de variação da linha de costa (m/ano), da NMS e a classificação dos transectos avaliados.

ID	DATA INICIAL	DATA FINAL	LAT INICIAL	LAT FINAL	LONG INICIAL	LONG FINAL	LRR	NMS	CLASSIFICAÇÃO
0	28/04/2016	30/07/2025	-9,787685040	-9,790543632	-35,858802055	-35,855279758	1,589814997	8,002997006	Acrescida
1	28/04/2016	30/07/2025	-9,786981339	-9,789856486	-35,858210851	-35,854702463	1,835649399	12,018109202	Acrescida
2	28/04/2016	30/07/2025	-9,786285699	-9,789164431	-35,857623575	-35,854118224	0,912698652	11,714904108	Acrescida
3	28/04/2016	30/07/2025	-9,785692657	-9,788344363	-35,857146592	-35,853461440	1,216736939	0,241502966	Acrescida
4	28/04/2016	30/07/2025	-9,784966352	-9,787618058	-35,856608416	-35,852923272	1,636222310	10,821902823	Acrescida
5	28/04/2016	30/07/2025	-9,784194085	-9,786951913	-35,856012181	-35,852408144	1,821568653	0,000000000	Acrescida
6	28/04/2016	30/07/2025	-9,783483764	-9,786241592	-35,855452470	-35,851848441	0,862883211	11,102078716	Acrescida
7	28/04/2016	30/07/2025	-9,782775362	-9,785517770	-35,854899173	-35,851283055	1,006925666	8,306150794	Acrescida
8	28/04/2016	30/07/2025	-9,782067232	-9,784792331	-35,854346132	-35,850716573	2,138003826	7,895462963	Acrescida
9	28/04/2016	30/07/2025	-9,781351876	-9,784076975	-35,853793067	-35,850163515	2,087256834	-3,585530169	Acrescida
10	28/04/2016	30/07/2025	-9,780636520	-9,783361619	-35,853240004	-35,849610460	0,912422758	0,000000000	Acrescida

ID	DATA INICIAL	DATA FINAL	LAT INICIAL	LAT FINAL	LONG INICIAL	LONG FINAL	LRR	NSM	CLASSIFICAÇÃO
11	28/04/2016	30/07/2025	-9,779893315	-9,782669637	-35,852658469	-35,849069129	1,259257209	9,223811540	Acrescida
12	28/04/2016	30/07/2025	-9,779185882	-9,781962203	-35,852095012	-35,848505680	1,133686801	7,821113905	Acrescida
13	28/04/2016	30/07/2025	-9,778478448	-9,781254769	-35,851531557	-35,847942233	0,412881199	10,496251569	Estável
14	28/04/2016	30/07/2025	-9,777791696	-9,780502442	-35,850998077	-35,847357514	0,313951373	-3,505989787	Estável
15	28/04/2016	30/07/2025	-9,777058270	-9,779796859	-35,850433522	-35,846814488	0,903656492	-4,627685474	Acrescida
16	28/04/2016	30/07/2025	-9,776344978	-9,779083567	-35,849877727	-35,846258701	1,639307198	0,000000000	Acrescida
17	28/04/2016	30/07/2025	-9,775848530	-9,778083497	-35,849536956	-35,845577605	1,081840729	7,405216816	Acrescida
18	28/04/2016	30/07/2025	-9,775068160	-9,777303127	-35,849083372	-35,845124030	1,489648635	8,455095040	Acrescida
19	28/04/2016	30/07/2025	-9,774287789	-9,776522756	-35,848629790	-35,844670458	1,533028305	3,090099183	Acrescida
20	28/04/2016	30/07/2025	-9,773343273	-9,775971729	-35,847979597	-35,844277471	1,651653468	0,000000000	Acrescida
21	28/04/2016	30/07/2025	-9,772613595	-9,775242051	-35,847446160	-35,843744042	0,852489519	3,265194723	Acrescida
22	28/04/2016	30/07/2025	-9,771658078	-9,774815039	-35,846630080	-35,843380881	0,930026045	8,378171380	Acrescida
23	28/04/2016	30/07/2025	-9,771017669	-9,774174629	-35,845989388	-35,842740196	1,258944229	0,000000000	Acrescida
24	28/04/2016	30/07/2025	-9,770244788	-9,773730696	-35,845130500	-35,842248272	1,670910035	10,197451014	Acrescida
25	28/04/2016	30/07/2025	-9,769362226	-9,773507953	-35,843854005	-35,842086980	1,665181485	3,996668608	Acrescida
26	28/04/2016	30/07/2025	-9,769013947	-9,773159673	-35,843012654	-35,841245631	1,167739685	15,489465365	Acrescida
27	28/04/2016	30/07/2025	-9,768677839	-9,772673547	-35,842364263	-35,840271432	1,622671915	14,577408001	Acrescida
28	28/04/2016	30/07/2025	-9,768582419	-9,771667475	-35,842272133	-35,838952610	0,567415524	0,000000000	Acrescida
29	28/04/2016	30/07/2025	-9,767928143	-9,771013199	-35,841646040	-35,838326524	-0,562569505	1,741246781	Erodida
30	28/04/2016	30/07/2025	-9,767344819	-9,770223450	-35,841144309	-35,837639072	0,162678673	2,247580664	Estável
31	28/04/2016	30/07/2025	-9,766830953	-9,769347514	-35,840696361	-35,836915095	0,165267528	0,000000000	Estável
32	28/04/2016	30/07/2025	-9,766085664	-9,768602225	-35,840185641	-35,836404384	-0,252587348	0,000000000	Estável

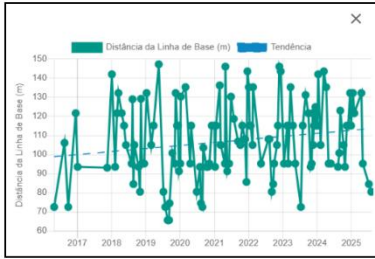
A Figura 7 espacializa a localização e a condição de classificação dos transectos costeiros, bem como a posição temporal da linha de costa.



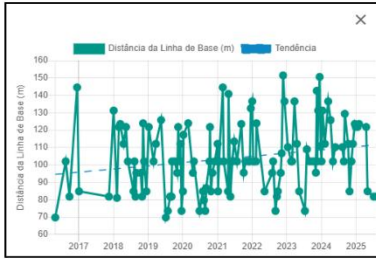
Figura 7: Indicação posicional e classificação dos transectos quanto à tendência deposicional.

A tendência deposicional da linha de costa, ao longo de cada transecto, também pode ser observada nos gráficos de regressão linear, conforme demonstra a Figuras 8a e 8b.

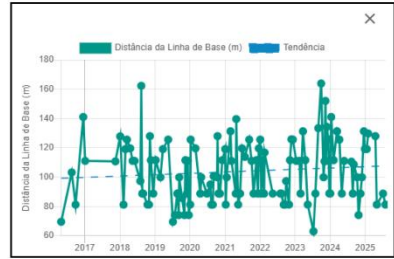
Perfil 0



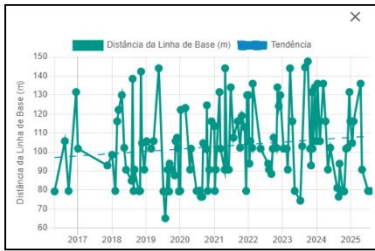
Perfil 1



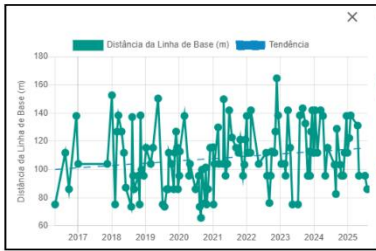
Perfil 2



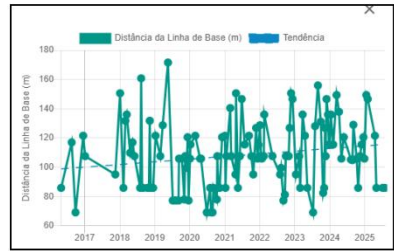
Perfil 3



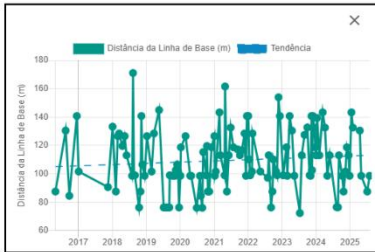
Perfil 4



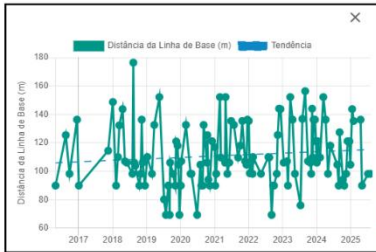
Perfil 5



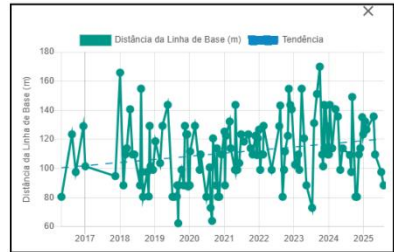
Perfil 6



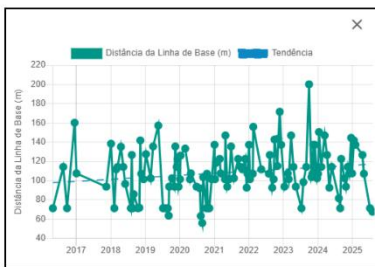
Perfil 7



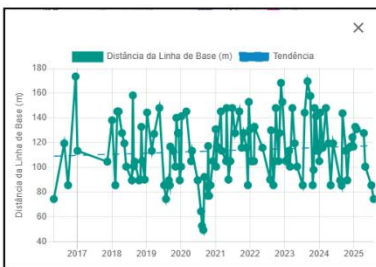
Perfil 8



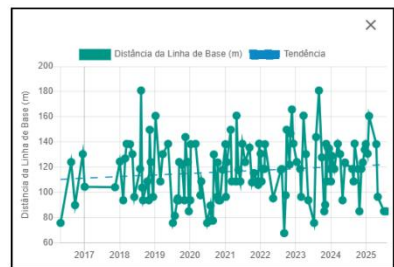
Perfil 9



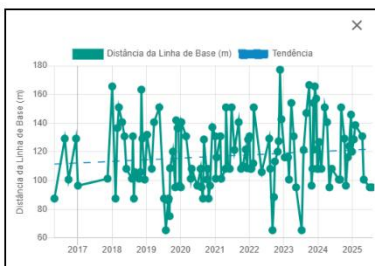
Perfil 10



Perfil 11



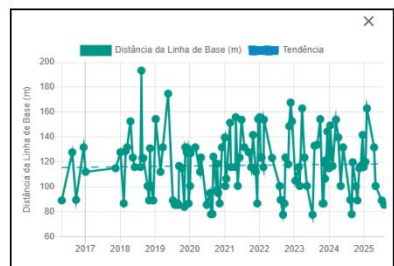
Perfil 12



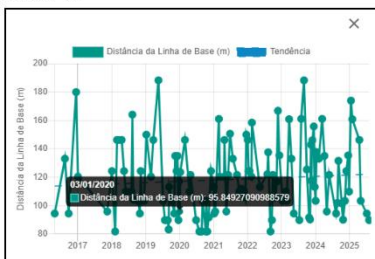
Perfil 13



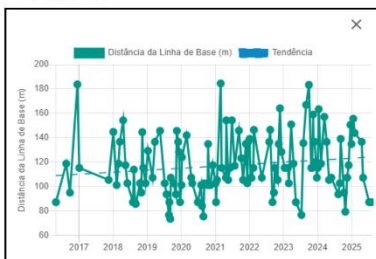
Perfil 14



Perfil 15



Perfil 16



Perfil 17

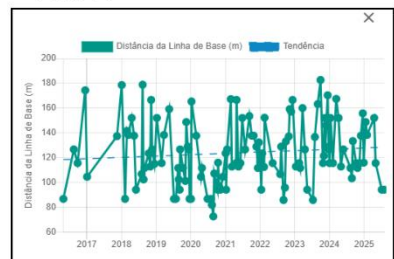
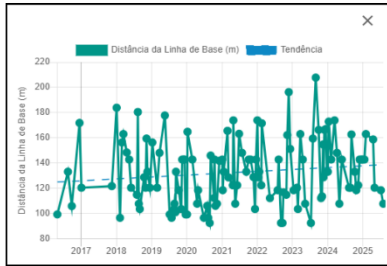
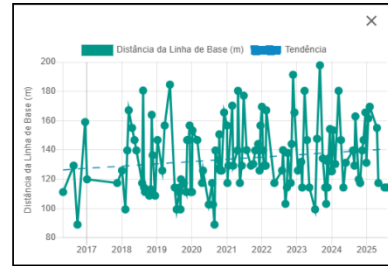


Figura 8a: Gráfico de regressão linear ao longo dos transectos (Perfil) 0 ao 17.

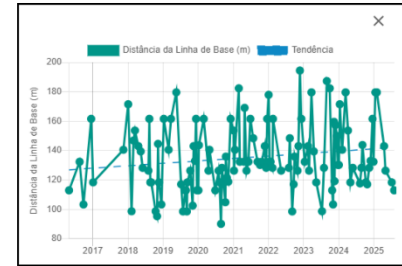
Perfil 18



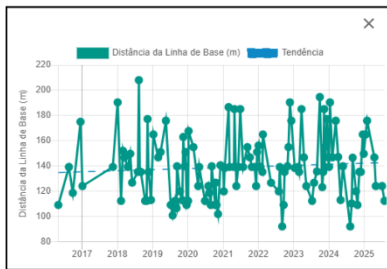
Perfil 19



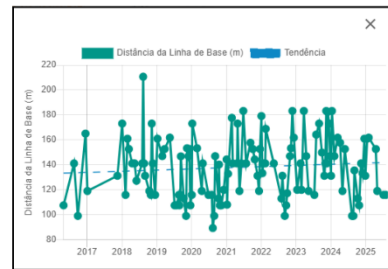
Perfil 20



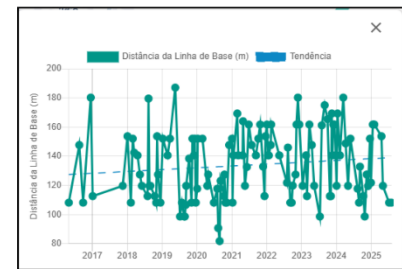
Perfil 21



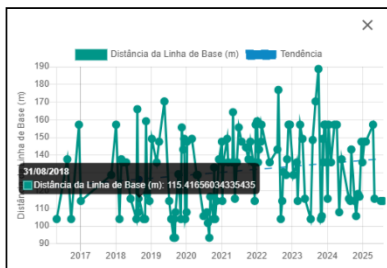
Perfil 22



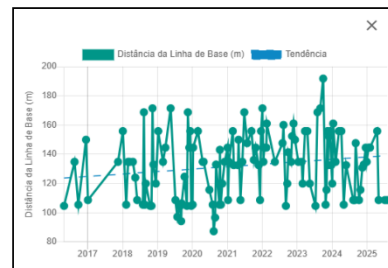
Perfil 23



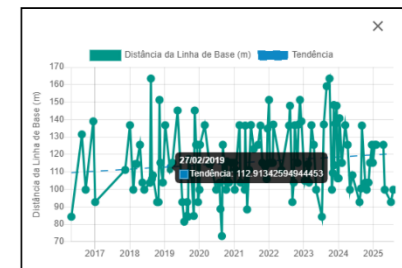
Perfil 24



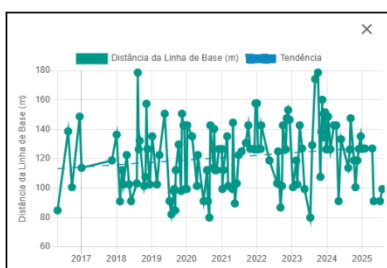
Perfil 25



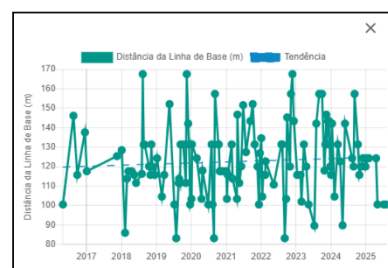
Perfil 26



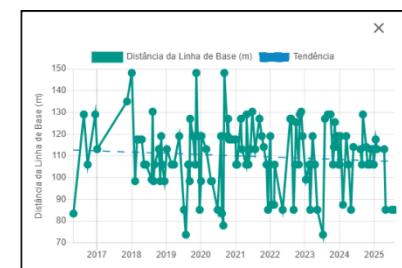
Perfil 27



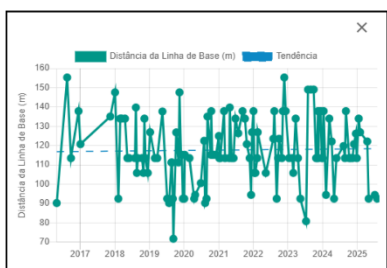
Perfil 28



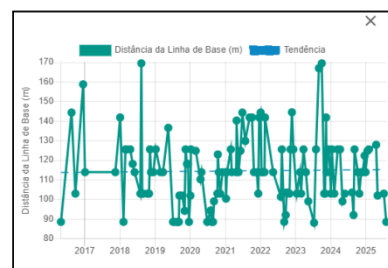
Perfil 29



Perfil 30



Perfil 31



Perfil 32

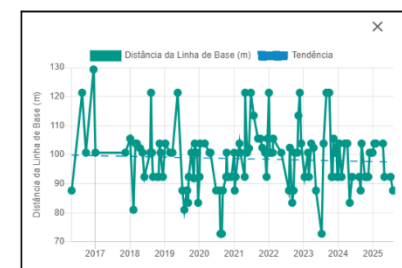


Figura 8b: Gráfico de regressão linear ao longo dos transectos (Perfil) 18 ao 32.

De modo geral, não foram identificados geoindicadores relativos à processos erosivos a Sudoeste da reserva, o que indica preservação da zona costeira e dinâmica posicional da linha de costa variando de estável a acresção neste trecho. Entretanto, na região antropizada à Nordeste, foram identificados três geoindicadores erosivos, o que possibilita inferir que a região está sob processos contínuos de perda de sedimento praiar e de desequilíbrio do balanço sedimentar, sendo seus efeitos representados pelo recuo da linha ao longo dos anos.

Quanto a avaliação da taxa de variação da linha de costa com base na LRR (m/ano), em específico ao transecto 29, ora posicionados sobre a face praias antropizada, pode-se considerar a ocorrência de tendência de recuo da linha de costa, com taxas erosiva de -0,56 m/ano. Quanto a movimentação da linha de costa, foi constatado a partir do índice NMS (Movimento da linha de costa) que a linha de costa próxima ao transecto 29 recuou aproximadamente 1,74 metros entre os anos de 2016 e 2025.

Cabe destacar que a taxa de variação é um valor representativo da movimentação da linha de costa ocorrida durante um determinado período. Sendo considerada como critério classificatório para determinação do estado de equilíbrio do litoral. Portanto, não deve ser utilizada para previsão de posições futuras da linha de costa. Justifica-se, pelo fato de que ao longo dos anos, o litoral apresenta alterações constantes no regime deposicional de sedimentos, regime de ondas e correntes oceânicas, que influenciam na morfodinâmica posicional da linha de costa, bem como sofre influência de eventos climáticos extremos, como os ciclones extratropicais, ressacas e ondas de tempestade (*storm surge*).

Constatado o processo erosivo, cabe neste momento inferir quais processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos podem estar influenciando o balanço sedimentar da região.

Atualmente, o evento mais danoso ao meio ambiente costeiro e que intensifica os processos erosivos é o aumento do aquecimento global e seus efeitos. O aquecimento dos mares influencia fenômenos como o *El Niño* e o deslocamento de grandes massas de água quente, resultando na intensificação de eventos extremos sobre a costa, como elevação do nível do mar, aumento dos ventos e maior altura e energia de quebra das ondas. Esses fatores, por sua vez, intensificam a erosão, a inundação da zona costeira e a destruição de estruturas.

Além do mais, a intensa urbanização, à Nordeste da reserva, em direção à linha de costa vem causando alterações no litoral, sobretudo seu deslocamento sobre o ambiente praias. O principal efeito observado é o desequilíbrio desse ambiente, com alteração nas taxas deposicionais ao longo deste trecho da costa, sendo perceptível a perda do espaço físico antes dominado por dunas e vegetação de restinga, para desenvolvimento de edificações e obras públicas próximas à linha de costa.

4. Discussão e Considerações Finais

A análise multitemporal da linha de costa da Reserva Nacional do Surf – Praia do Francês, realizada com base em imagens Sentinel-2 (2016–2025) e processadas via ferramenta CASSIE, permitiu identificar variações espaciais significativas na dinâmica sedimentar do setor litorâneo. Dos 33 transectos avaliados, observou-se predominância de tendências acrecionais e estáveis na maior parte do trecho, especialmente na porção Sudoeste, onde a cobertura vegetal de restinga e a menor intervenção antrópica contribuem para a manutenção do equilíbrio morfodinâmico e para o aprisionamento natural de sedimentos.

Em contrapartida, na porção Nordeste, mais urbanizada e sujeita a ocupações sobre cordões arenosos e antigas dunas frontais, registrou-se a presença de múltiplos geoindicadores erosivos, destacando-se a exposição de raízes, soterramento de vegetação rasteira e a existência de obras de contenção não estruturais. O transecto 29 apresentou a maior taxa erosiva do conjunto, com LRR = -0,56 m/ano e deslocamento médio da linha de costa de 1,74 m no período analisado, indicando tendência de recuo associada à pressão urbana e à redução do balanço sedimentar local.

Embora a taxa média de erosão observada na porção Nordeste seja considerada discreta, sua persistência ao longo dos anos indica a necessidade de planejamento preventivo. Recomenda-se, portanto, a implantação de faixas não edificáveis de 50 a 200 metros ao longo dos trechos críticos conforme diretrizes do Projeto Orla (MMA, 2004), bem como, o replantio de vegetação de restinga nativa, de modo a permitir a mobilidade natural da linha de costa e reduzir riscos à infraestrutura urbana.

Por fim, reforça-se que a erosão costeira é um processo natural, integrante da dinâmica sedimentar litorânea. O problema emerge quando há ocupação desordenada próxima à linha de costa, suprimindo a resiliência natural do ambiente. Assim, a continuidade do monitoramento sistemático, combinando imagens orbitais, levantamentos topográficos e observações em campo, é importante ferramenta para subsidiar ações de gestão costeira adaptativa e orientar políticas públicas voltadas à proteção e ao uso sustentável do litoral da Praia do Francês.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAGOAS. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (PERH). Relatório RT-02: Consolidação da Base Técnica do PERH. Fortaleza: IBI Engenharia Consultiva; Engesoft Engenharia e Consultoria, v. 1, 2010. Relatório.

ALMEIDA, L.P. et al. Coastal analyst system from space imagery Engine (CASSIE): shoreline management module. **Elsevier**. 140. 2021. (doi:10.1016/j.envsoft.2021.105033).

ANDRADE, G. O.; LINS, R. C. Os climas do Nordeste. In: **As Regiões Naturais do Nordeste, o Meio e a Civilização**. Recife: Condepe, 1970. p. 95-138.

ARAÚJO, T. M.; SANTOS, R. C. A. L.; SEOANE, J. C. S.; MANSO, V. A. Erosão e Progradação do Litoral Alagoas. In: MUEHE, D (org). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

BRASIL. **APA Costa dos Corais ganha mais proteção**. In: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/destaque/apa-costa-dos-corais-ganha-mais-protECAo>. Último acesso em: 02 de abril de 2025.

CALLAGHAN, D.; RANASINGHE, R.; SHORT, A. (2009) – Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. **Coastal Engineering**, 56: 90 – 93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.10.003>.

ESTEVES, LS & Finkl, CW. O problema das áreas criticamente erodidas (CEA): Uma avaliação das praias da Flórida. **Jornal do litoral Pesquisa**, SI 26, 1118 (1998). (ISSN: 07490208).

FERREIRA, R. V. **Geomorfologia da região de Japaratinga – AL**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. 86 p. 1999.

FRANÇA, A.M.C. – 1979 – Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente. IN: **Projeto REMAC – Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**, Rio de Janeiro, RJ, no. 7, 89-127.

MAIA, L.P. (2005) - **Projeto Nordeste** – Definição e Quantificação dos processos Costeiros no Litoral do Estado do Ceará: Implicações para a Gestão Adequada da Zona Litorânea.

MARTINS, K.A. et al. Determinação da Erosão Costeira no Estado de Pernambuco Através de Geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo. Vol.17, n.3 p. 533 546. 2016. (doi:10.20502/rbg.v17i3.854).

MARTINS, K. A. **Vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas através de indicadores em Pernambuco, Brasil**. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/13925>. Acesso: 02 de abril de 2025.

MUEHE, D. – 1998 – O litoral brasileiro e sua compartimentação. IN: Geomorfologia do Brasil (orgs.) Cunha, S.B., Guerra, A.J.T., **Bertrand Brasil**, Rio de Janeiro, 273-349.

MUEHE, D. Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: Ministério do Meio Ambiente (MMA); Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPO). **Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla): subsídios para um projeto de gestão**. Brasília: MMA, 2004, p. 13-32.

MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**. 2006. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/9285-eros%C3%A3o-e-prograda%C3%A7%C3%A3o.html>. Último acesso em: 02 de abril de 2025.

IH-CANTÁBRIA. **Mudanças do Clima em Praias: Documento Temático**. Universidade da Cantabria-UC/UFSC/IO-USP, 119p. 2018. Disponível em: <https://smcbrasil.paginas.ufsc.br/>. Último acesso em: 02 de abril de 2025.

IPCC. **Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Último Acesso: 02 de abril de 2025.

SANTOS, R. C. A. L. **Evolução da linha de costa à médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió – Alagoas**. 2004. 176 f. Tese, Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SHORT, A.D.; TREMBANIS, A.C. (2004) - Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia—time series, PCA and wavelet analysis. **Journal of Coastal Research**, 20 (2): 523–532. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/4299308>.

SHORT, A. D. Australian beach systems-nature and distribution. **Journal of Coastal Research**, [s.i.], v. 22, n. 1, p. 11-27, 2006.

SILVA, N. C. F; MOURA, C. M. S; SILVA, J. C; VITAL, S. R. O. Taxas de variação da linha de costa nas praias do litoral norte do estado da Paraíba. In: **Gestão das zonas costeiras: a influência continental na qualidade ambiental – Tomo XI da Rede BRASPOR**, Capítulo XVIII. 279-296, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/375025051_Taxas_de_variacao_da_linha_de_costa_nas_praias_do_litoral_norte_do_Estado_da_Paraiba. Último acesso em: 02 de abril de 2025.

SILVESTER, R. Sediment transport – long term net movement. IN: The Encyclopedia of Geomorphology (ed.) R.W. Fairbridge, **Reinhold Book Corp.**, 1968, 985-989p.

SOUZA, C. R. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 1, p. 17–37, 2009.

SOUZA, V. G; SANTOS, A. C. F. B. M. Quantificação da dinâmica da linha de costa da praia da cal (Torres/RS) após a passagem de um ciclone extratropical utilizando a ferramenta coastal analysis via satellite imagery engine (CASSIE). **VIII Congresso Brasileiro de Geógrafos e Geógrafos**. São Paulo, 2024. 13p.

SOUZA, C. R. G; SUGUIO, K; OVILEIRA, A. M. S; OLIVEIRA, P. E. Praias arenosas e erosão costeira. In: **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto, SP: Holos, Editora. p. 130152. 2005. (ISBN: 9788577383948).

SOUZA, C. R. G. **A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil**. **Revista Gestão Costeira Integrada**. 2009. (doi:10.5894/rgci147).

THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., ERGUL, A. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. ver. 4.4, July 2017. U.S. **Geological Survey Open-File**. Report 2008-1278, 2017.

TREBOSEN, H; DEFFONTAINES, B; CLASSEAU, N; KOUAME, J; RUDANT, J.P. (2005) - Monitoring coastal Evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. **Comptes Rendus Geosciences**, 337(13):1140–1153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2005.05.013>.

VAN RIJN, L C. Coastal erosion and control. **Ocean & Coastal Management**, v. 54, n. 12, p. 867–887, 2011.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics of beach sand surf zones in Australia. In: KOMAR, P. D. **Handbook of coastal processes and erosion**. Boca Raton/EUA: CRC, 1984, p. 35-64.