

# Vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira de Esplanada, Bahia

## Natural vulnerability to erosion of the coastal zone of Esplanada, Bahia

## Vulnerabilidad natural a la erosión de la zona costera de Esplanada, Bahia

Ana Caroline de Souza Santos

<https://orcid.org/0009-0001-0463-6204>

[anacaroline22santos@gmail.com](mailto:anacaroline22santos@gmail.com)

*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Salvador, Bahia, Brasil*

Nilmara Saturnino de Souza

<https://orcid.org/0000-0001-6115-6808>

[saturninonilmara@gmail.com](mailto:saturninonilmara@gmail.com)

*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Salvador, Bahia, Brasil*

Marcus Vinicius Costa Almeida Junior

<https://orcid.org/0000-0002-2742-5290>

[mvcajr@ufrb.edu.br](mailto:mvcajr@ufrb.edu.br)

*Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Salvador, Bahia, Brasil*

**Resumo:** A zona costeira é um ambiente complexo que sofre variações em diversas escalas temporais. Essa zona é classificada como um dos ambientes mais vulneráveis, tanto do ponto de vista físico quanto econômico, devido à complexidade dos processos litorâneos, da fragilidade de seus ecossistemas, da forte concentração populacional e do turismo. Diante disto, o objetivo desta pesquisa foi realizar a análise da vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira do município de Esplanada, Bahia. A metodologia utilizada envolveu a integração de dados cartográficos usando o programa QGIS, com base em atributos do meio físico e de uso da terra (geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, vegetação, uso e ocupação do solo), diferenciando-se as classes de cada mapa quanto aos seus graus de vulnerabilidade. De acordo com os resultados gerados foi possível gerar o mapa de vulnerabilidade natural à erosão. A distribuição das classes de vulnerabilidade ambiental na zona costeira de Esplanada revelou que as áreas urbanas apresentam os índices mais elevados.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Uso e Ocupação do Solo, Gestão Territorial.

**Abstract:** The coastal zone is a complex environment that undergoes variations on various temporal scales. This zone is classified as one of the most vulnerable environments, both from a physical and economic point of view, due to the complexity of coastal processes, the fragility of its ecosystems, the high population concentration, and tourism. Given this, the objective of this research was to carry out the analysis

of the natural vulnerability to erosion of the coastal zone of the municipality of Esplanada, Bahia. The methodology used involved the integration of cartographic data using QGIS Software, based on information from the physical environment and land use of the following attributes: geological, geomorphological, pedological, slope, and vegetation, land use and occupation; classifying the different classes of each map according to their degrees of vulnerability. According to the results generated, it was possible to generate the map of natural vulnerability to erosion. The distribution of environmental vulnerability classes in the coastal zone of Esplanada revealed that urban areas have the highest indices.

**Keywords:** Geoprocessing, Land Use and Occupation, Territorial Management.

**Resumen:** La zona costera es un ambiente complejo que sufre variaciones en diversas escalas temporales. Esta zona se clasifica como uno de los ambientes más vulnerables, tanto desde el punto de vista físico como económico, debido a la complejidad de los procesos costeros, la fragilidad de sus ecosistemas, la alta concentración poblacional y el turismo. Ante esto, el objetivo de esta investigación fue realizar el análisis de la vulnerabilidad natural a la erosión de la zona costera del municipio de Esplanada, Bahia. La metodología utilizada implicó la integración de datos cartográficos utilizando el Software QGIS, basado en información del entorno físico y uso de la tierra de los siguientes atributos: geológico, geomorfológico, pedológico, pendiente, y vegetación, uso y ocupación del suelo; clasificando las diferentes clases de cada mapa según sus grados de vulnerabilidad. De acuerdo con los resultados generados, fue posible generar el mapa de vulnerabilidad natural a la erosión. La distribución de las clases de vulnerabilidad ambiental en la zona costera de Esplanada reveló que las áreas urbanas presentan los índices más altos.

**Palabras clave:** Geoprocementamiento, Uso y Ocupación del Suelo, Gestión Territorial.

## INTRODUÇÃO

A zona costeira, um ecossistema dinâmico e intrincado, que experimenta flutuações em várias escalas temporais, abrange a faixa de terra adjacente ao litoral, onde a terra e o mar se interligam. Conforme discutido por Almeida Junior, Anjos & Sampaio (2013), estendendo-se desde a planície costeira até a borda da plataforma continental, essa área complexa é um sistema ambiental onde interações diretas entre a geosfera, a hidrosfera e componentes atmosféricos desempenham papéis significativos.

A singularidade da zona costeira, marcada pela fragilidade de seus ecossistemas e sua importância turística, torna-a um dos ambientes mais vulneráveis, tanto em termos físicos quanto econômicos, como apontado por Souto (2020). Mesmo sendo propensa a desafios, essa região mantém uma relevância substancial para a biodiversidade, economia, cultura e lazer das comunidades litorâneas. No entanto, o aumento populacional nas zonas litorâneas tem gerado uma série de problemas, conflitos e riscos ambientais decorrentes de atividades humanas diversas, como turismo, exploração de recursos vivos e minerais, transporte e agricultura (Almeida Junior, Anjos & Sampaio, 2013).

Essas atividades antrópicas desencadeiam alterações prejudiciais, resultando em desequilíbrios, tais como erosão do solo, assoreamento, escassez ou degradação da qualidade da água, entre outros problemas ambientais (Tavares, Oliveira & Romão, 2022). Essas

transformações induzidas pela intervenção humana contribuem para a vulnerabilidade de certas áreas, prejudicando a biodiversidade e as populações que dependem desse ambiente.

A vulnerabilidade, como explicam Aquino, Palleta & Almeida (2017), está intrinsecamente ligada aos riscos enfrentados por determinadas áreas devido a fenômenos de origens diversas, sejam naturais, sociais ou econômicos. O processo de erosão do solo, por exemplo, decorre da separação das partículas individuais da massa do solo, seguida pelo seu transporte através de agentes erosivos, como escoamento superficial e vento, impactando negativamente na capacidade produtiva do solo e aumentando o aporte de sedimentos poluentes para corpos d'água (Cuiabano et al., 2017).

Ao longo do litoral brasileiro, especialmente nas áreas mais intensamente ocupadas, os impactos erosivos resultantes da interação entre fatores naturais e atividades humanas são evidentes, acarretando perdas socioeconômicas significativas (Fernandes et al., 2020). Nesse contexto, a identificação e a redução dos processos erosivos tornam-se imperativas para aprimorar o planejamento costeiro e minimizar impactos adversos.

Como ressaltado por Silva & Dantas (2010), o ambiente físico estabelece limites para as atividades humanas, requerendo considerações cuidadosas para evitar acidentes e perdas geológicas. Para mitigar esses impactos e obter informações essenciais para uma gestão territorial eficaz, é crucial realizar estudos técnicos-científicos do meio físico, possibilitando uma análise integrada da paisagem e contribuindo para o diagnóstico ambiental da área em relação ao uso e cobertura do solo.

Nas áreas costeiras do litoral norte baiano, a destruição contínua e fragmentação de florestas, aliadas ao rápido crescimento de empreendimentos imobiliários, são evidentes desde a criação da Linha Verde em 1993, que faz parte da rodovia estadual BA-099 (Nunes & Matos, 2017). A criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Litoral Norte do Estado da Bahia, estabelecida em 1992, visava, através do Decreto Estadual nº 1.046 (Bahia, 1992), preservar as áreas adjacentes à Linha Verde, tanto entre a rodovia e o mar quanto na faixa de terra para o interior, promovendo a implementação de megaprojetos turísticos (Machado, 2008).

Conforme relatado pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia - SEI (2009), essa localidade abriga ecossistemas frágeis, como zonas úmidas, dunas e terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, agravando a situação crítica para a conservação da biodiversidade nessa região. Diante dessas informações, o presente estudo visa investigar a relação dos processos físicos que moldam a paisagem local por meio do método matemático da álgebra de mapas, a partir dos diferentes graus de vulnerabilidade de erosão natural do solo; fundamental para compreender as fragilidades que as zonas costeiras possuem.

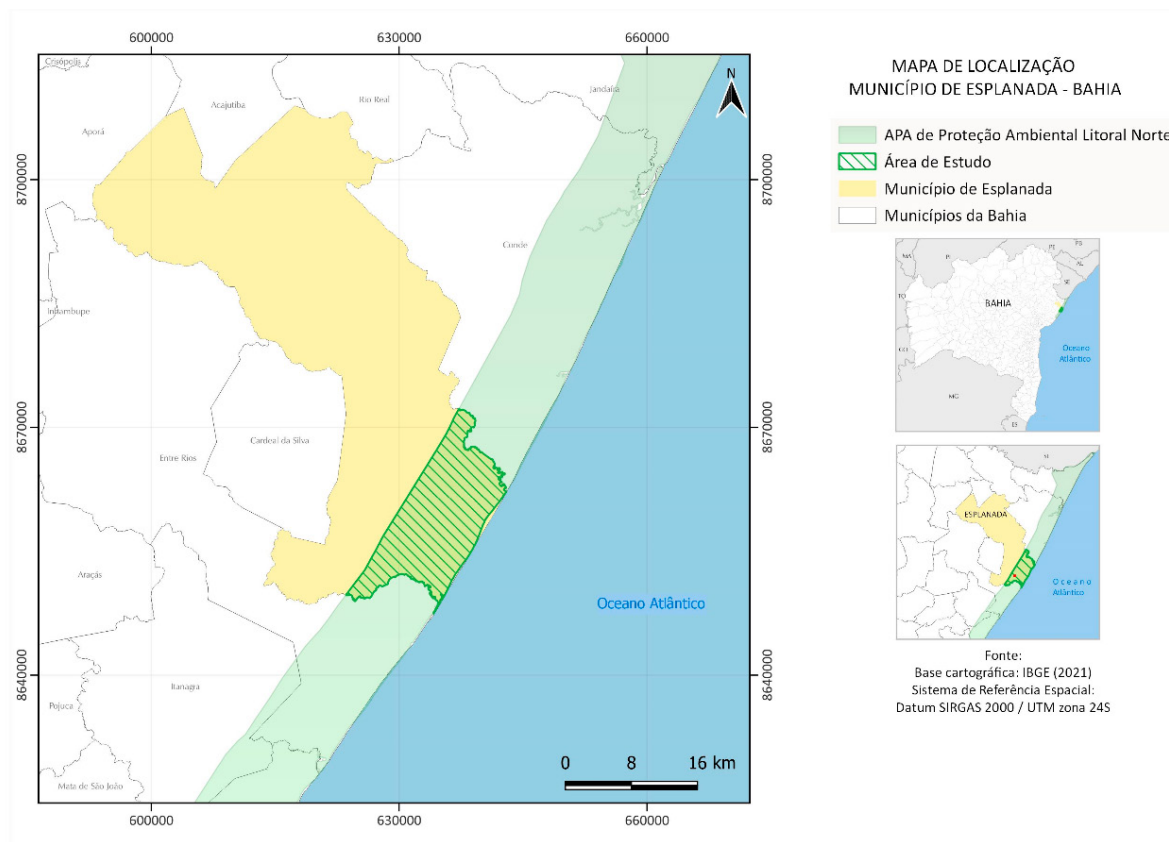
Adotando a abordagem proposta por Crepani et al. (2001), que emprega uma escala de graus de vulnerabilidade para cada unidade mapeada, a pesquisa considera processos morfogênicos e pedogênicos, o que envolve a integração de informações pedológicas, geomorfológicas, geológicas, de declividade, e de vegetação, uso e ocupação do solo. Segundo Lopes & Saldanha (2016), o processo de morfogênese está relacionado aos agentes erosivos,

que modificam as formas de relevo, enquanto a pedogênese ocorre quando predominam os processos formadores de solos.

Portanto, objetivou-se realizar o estudo sobre a vulnerabilidade natural à erosão e sua dinâmica, em âmbito continental, através de álgebra de mapas, identificando os fatores responsáveis pela erosão costeira do município de Esplanada, Bahia, a partir da caracterização do meio físico, através de fatores envolvendo geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso e ocupação do solo e declividade da região de estudo (Figura 1) e, com essas informações e aplicando a ferramenta de álgebra de mapas, chegar ao produto final da pesquisa.

A partir da integração desses dados, tem-se como resultado o mapa final de vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira de Esplanada, proporcionando uma base sólida para a implementação de estratégias de preservação e uso sustentável da zona em apreço. Este enfoque multidisciplinar contribui para uma compreensão abrangente dos desafios enfrentados por essa região única, além de oferecer *insights* valiosos para a gestão eficaz de seu ambiente complexo e dinâmico.

Figura 1: mapa de localização da área de estudo.



## METODOLOGIA

O estudo empregou uma abordagem metodológica abrangente, integrando elementos qualitativos e quantitativos para analisar a vulnerabilidade natural da área em questão, conforme ilustrado na figura 2. A escolha por essa abordagem mista possibilitou uma compreensão mais completa e aprofundada dos processos envolvidos, permitindo uma visão holística da situação.

Na primeira etapa metodológica, realizou-se o levantamento de dados, coletando informações relevantes sobre a área de estudo, abrangendo desde características geológicas e geomorfológicas até aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo. Esse levantamento detalhado estabeleceu uma base sólida para análises subsequentes, assegurando que a compreensão da vulnerabilidade natural estivesse fundamentada em dados precisos e representativos.

Foram obtidos dados secundários de fontes específicas, como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), Sistemas Eletrônicos de Informações do Estado da Bahia (SEI-BA, 1998), Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2019), além de informações do Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental do Conde elaborado pela SEMARH (2003) e do Plano de Manejo da APA do Litoral Norte (SEPLANTEC/CONDER, 1995), e referências de estudos para a caracterização do contexto regional.

Figura 2: Esquema sequencial das etapas metodológicas empregadas neste estudo.



Com base nesses dados, foram elaborados mapas-base de declividade, geologia, geomorfologia e pedologia no programa QGIS versão 3.28. Esses mapas foram sobrepostos ao mapa hipsométrico, juntamente com o mapa de uso e cobertura do solo utilizando dados do MAPBIOMAS (Souza et al., 2020), para facilitar as observações do meio físico, contribuindo para a análise da vulnerabilidade natural à erosão na zona costeira do município de Esplanada.

No desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade natural à erosão, empregou-se a álgebra de mapas no software QGIS versão 3.28. A primeira etapa envolveu a atribuição de pesos (graus) para cada classe existente nos mapas-base de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade e vegetação, uso e ocupação do solo (Figuras 3 e 4).

Os graus de vulnerabilidade para cada unidade mapeada foram determinados por meio de uma escala de 1 a 3, conforme a metodologia de Crepani et al. (2001), considerando a relação Pedogênese/Morfogênese. Tricart (1977) categorizou a morfodinâmica dos processos de morfogênese e pedogênese, indicando que a predominância do primeiro sugere processos de erosão, enquanto a predominância do segundo sugere processos de formação de solos. Além disso, devido à presença de corpos d'água permanentes na região, atribuiu-se o valor 5,0 para essa classe, isolando essas áreas alagadas da análise do estudo.

Dessa forma, a pesquisa adotou as escalas de vulnerabilidade baixa, média e alta, com base nas categorias morfodinâmicas de Tricart (1977) - Estável, Intermediária e Instável. A tabela 1 representa a correspondência entre essas categorizações, resultante da análise dos mapas temáticos.

Tabela 1: relação Pedogênese/Morfogênese.

Classificação	Valores	Relação Pedogênese/Morfogênese
Baixa	1	Predomina Pedogênese
Média	2	Equilíbrio
Alta	3	Predomina Morfogênese

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

Levou-se em consideração a metodologia proposta por Crepani et al. (2001) para análise das áreas mais vulneráveis à erosão, elencando diferentes graus de vulnerabilidade com base na relação Pedogênese/Morfogênese, aplicando a seguinte equação:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + D)}{5}$$

5

Onde tem-se:

V = Vulnerabilidade; G = vulnerabilidade para o tema Geologia; R = vulnerabilidade para o tema Relevô (Geomorfologia); S = vulnerabilidade para o tema Solos; Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação, Uso e Ocupação; D = vulnerabilidade para o tema Declividade.

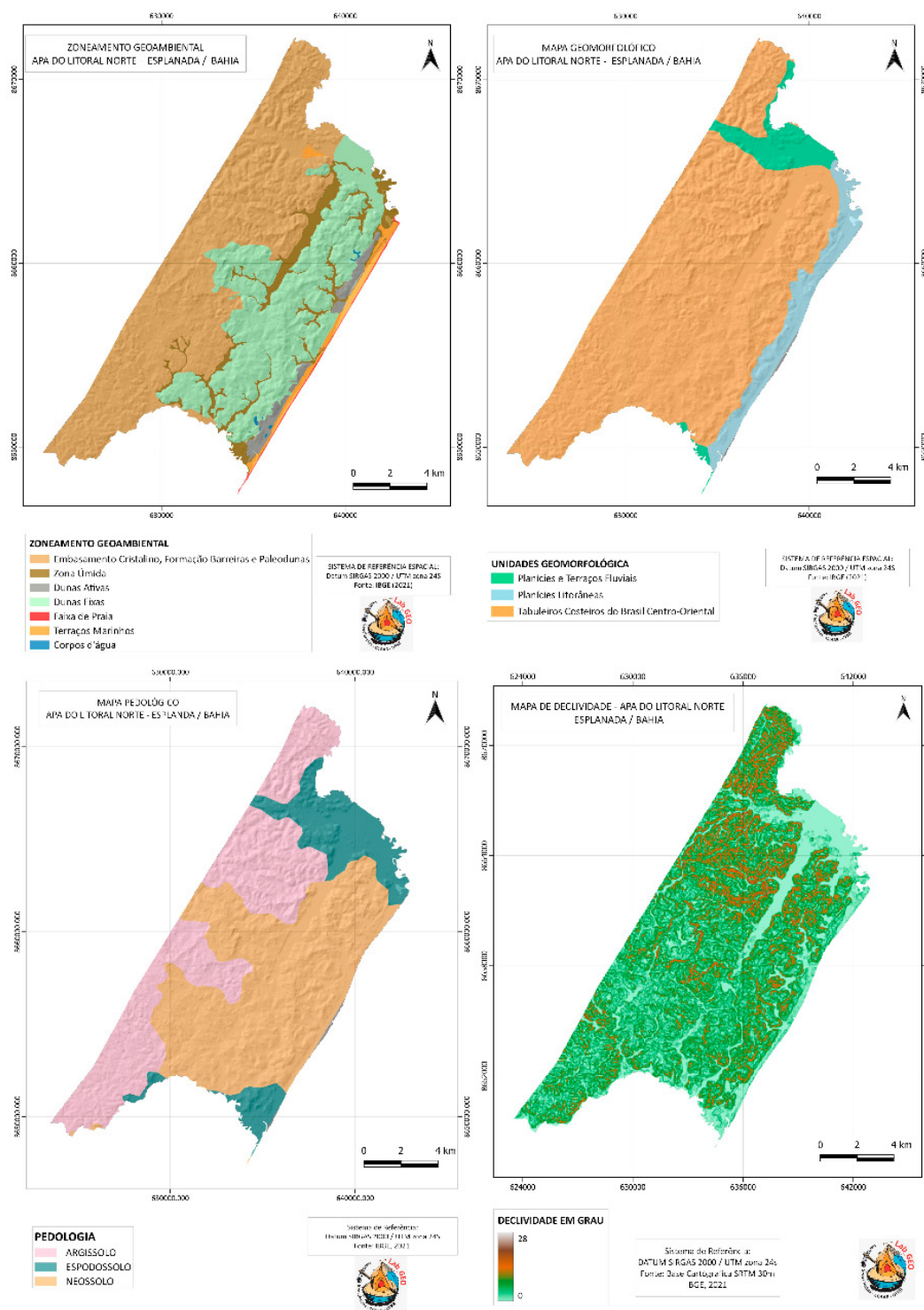
Com base nos dados obtidos acima, a partir de Santos et al. (2024), em formato raster, o resultado algébrico dessas informações deu origem ao mapa – ou carta – de vulnerabilidade natural à erosão da área de estudo.

Para o critério Geologia, adotou-se como referência o Zoneamento Geoambiental proposto por Santos et al. (2024), que fundamenta a compartimentação da área de estudo a partir da delimitação das unidades geológicas. A utilização dessas unidades como critério norteador justifica-se pelo fato de a geologia exercer controle direto sobre a configuração do meio físico, influenciando aspectos como morfologia do relevo, dinâmica de solos, padrões de drenagem e susceptibilidade a processos erosivos e movimentos de massa, conferindo maior consistência científica ao zoneamento.

A partir da geração deste produto, deram-se início às análises e interpretações da área de estudo. Durante essa análise, foram considerados tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos, proporcionando uma visão abrangente das condições presentes na área. A interrelação entre variáveis, como tipos de solo, cobertura vegetal e processos erosivos, foi minuciosamente examinada para identificar padrões e tendências significativas.

A divulgação dos resultados não apenas contribui para o entendimento da vulnerabilidade natural da zona costeira em foco, mas também oferece informações valiosas para gestores ambientais, pesquisadores e demais interessados.

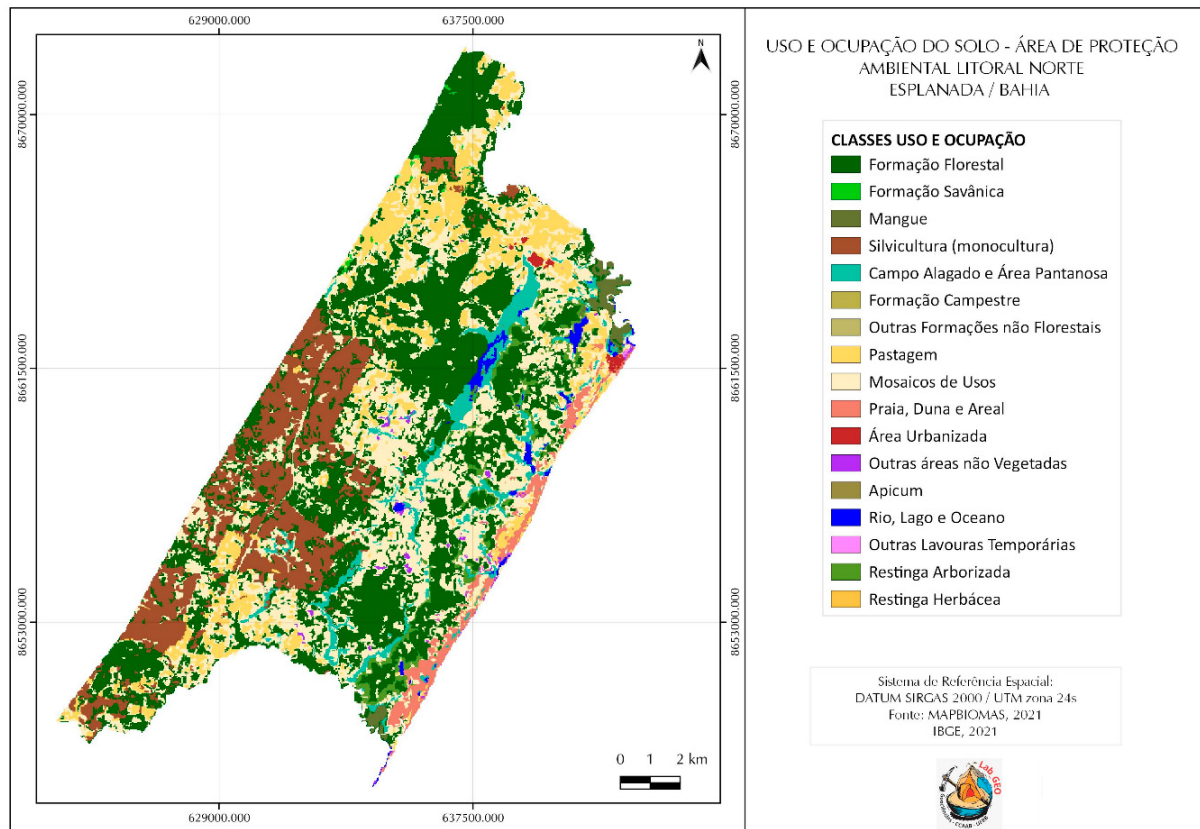
Figura 3: mapas-base. A – Zoneamento Geoambiental. B – Geomorfológico. C – Pedológico. D – Declividade.



Fonte: Santos et al. (2024).



Figura 4: mapa-base de Vegetação, Uso e Ocupação do Solo.



Fonte: Santos et al. (2024).

## CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

A região de estudo focaliza a zona costeira do município de Esplanada (BA), situada na APA do Litoral Norte, conforme indicado na Figura 1. Essa extensão costeira abrange 193,53 km<sup>2</sup>.

É uma unidade de conservação localizada no estado da Bahia, inserida no domínio da Mata Atlântica, abrangendo uma vasta área costeira de aproximadamente 1.420 km<sup>2</sup>, distribuídos pelos municípios de Conde, Entre Rios, Jandaíra, Mata de São João e Esplanada (ISA, 1992).

Devido à sua posição latitudinal e à forte influência de fatores atmosféricos e oceânicos, o litoral norte do estado da Bahia apresenta elevados índices de precipitação e umidade ao longo do ano. A atuação da Massa Tropical Atlântica, dos ventos alísios de sudeste e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) contribui para a ocorrência de chuvas regulares, enquanto a Corrente do Brasil, de águas quentes, intensifica a evaporação e o aporte de umidade para a região. A proximidade constante com o oceano reduz a amplitude térmica, mantendo temperaturas médias anuais entre 22°C e 27°C. Além disso, a geomorfologia dos tabuleiros costeiros, associada à cobertura vegetal de Mata Atlântica

e restingas, reforça os processos de orografia e evapotranspiração, condicionando precipitações anuais que variam de 1.200 mm a 2.000 mm (Nunes & Matos, 2017).

A zona costeira do litoral norte da Bahia é marcada, predominantemente, por três principais domínios geológico-geomorfológicos, o Pré-Cambriano, o Paleógeno-Neógeno e o Quaternário, com características que moldam a paisagem da região.

No Domínio Pré-Cambriano, destaca-se o Complexo Rio Real, que constitui o embasamento cristalino da região. Trata-se de uma extensa faixa geológica de idade Arqueana a Proterozoica, formada por uma associação ortognáissica ácido-básica, sobre a qual se depositou uma espessa cobertura sedimentar, representada principalmente pela Formação Barreiras, cuja espessura pode alcançar cerca de 30 m (Vilas Boas et al., 2001; Lima, 2020).

No Domínio Paleógeno-Neógeno, destaca-se a Formação Barreiras, cuja interpretação atual difere das primeiras propostas que restringiam sua idade ao Plioceno (3–5 Ma). Estudos recentes apontam que sua deposição ocorreu entre o final do Oligoceno e o Mioceno médio, associada a eventos transgressivos marinhos e a períodos de regressão e erosão, com desenvolvimento de paleossolos e crostas lateríticas (Rossetti, Bezerra & Dominguez, 2013). A unidade apresenta significativa variação regional, refletindo tanto a influência de uma atividade neotectônica quanto das mudanças relativas do nível do mar.

Litologicamente, a Formação Barreiras mantém a caracterização de uma unidade composta por depósitos de origem fluvial a aluvial na base — com areias finas a médias e argilas variegadas —, sobrepostos por depósitos mais proximais e conglomeráticos associados a fluxos de detritos (Vilas Boas et al., 2001; Rossetti, Bezerra & Dominguez, 2013). Estudos de proveniência sedimentar com datações U-Pb em zircão e análises de termocronologia revelam a contribuição dominante de fontes cristalinas do embasamento adjacente, indicando múltiplos pulsos de erosão e retrabalhamento durante o Neógeno (Dias et al., 2020; Santiago et al., 2023).

Já o Domínio Quaternário assume especial relevância considerando a presença da APA do Litoral Norte, onde os depósitos sedimentares de idade quaternária predominam entre as ocorrências litológicas, recobrando as rochas e sedimentos dos domínios anteriores. Os principais tipos de depósitos quaternários incluem Depósitos de Leques Aluviais, Terraços Marinhos Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos, Depósitos Eólicos, Depósitos Fluviolagunares, Depósitos Aluvionares, Faixa de Praia Atual e Arenitos de Praia (Dominguez & Bittencourt, 2012).

A geomorfologia da região é marcada pelos Tabuleiros Costeiros situados próximos à costa. Essas unidades apresentam topos planos e convexos, com drenagens encaixadas e vertentes íngremes de fundo chato, resultantes da ação do modelado de dissecação. Geologicamente, são sustentadas pela Formação Barreiras e Leques Aluviais Coalescentes (Almeida Junior, Anjos & Sampaio, 2013).

Quanto aos Terraços Fluviais, conforme Medina & Dantas (2000), referem-se a áreas planas ou levemente inclinadas constituídas por depósitos arenosos quartzosos, bem selecionados. Esses terraços estão localizados nas planícies costeiras e são abundantes nas desembocaduras dos principais rios da região, devido ao “efeito de molhe” causado pela descarga fluvial. Por outro lado, as Planícies Litorâneas, que são áreas planas e baixas

próximas à costa, formam-se pela deposição de sedimentos transportados tanto pelo mar quanto pelos rios que deságuam no oceano.

A região possui uma ampla diversidade de fitofisionomias, incluindo a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, a vegetação de Restinga, tanto arbórea quanto arbustiva, adaptada às condições adversas do ambiente costeiro, e a vegetação de Mata Ciliar, associada às margens de rios e outros cursos d'água; sendo todas relacionadas ao Bioma Mata Atlântica (Cerqueira, 2000; Martins & Cavararo; 2012; Nunes & Matos, 2017)

Essas extensas áreas naturais são modificadas pela ação humana, englobando setores imobiliário e turístico, áreas desmatadas, destinadas à agricultura e pecuária, vastos coqueirais voltados à produção de coco, e silvicultura, que envolve o cultivo de árvores para fins comerciais de produção de madeira (SEI, 2009).

As características pedológicas da região abrangem diversos tipos de solos, como Argissolo, Espodossolo, Gleissolo, Neossolo e Solos Indiscriminados de Mangue (Nunes & Matos, 2017). Os Argissolos são solos de baixa fertilidade, encontrados em áreas planas e com alta declividade (St. Jean, 2017). Os Gleissolos são solos hidromórficos, periodicamente ou permanentemente saturados por água, com possibilidade de estagnação ou saturação por fluxo lateral no solo (Santos & Zaroni, 2021). Os Espodossolos são solos arenosos com variação em profundidade e drenagem, também apresentando baixa fertilidade (Santos & Zaroni, 2021). Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, porém profundos e bem drenados, com baixa retenção de água e fertilidade natural reduzida (St. Jean, 2017). Finalmente, os Solos Indiscriminados de Mangue, caracterizados por baixo desenvolvimento, coloração escura e alto teor de sais oriundos da água do mar, são formados em ambientes de mangue pela deposição de sedimentos fluviomarinheiros recentes misturados com detritos orgânicos de diferentes naturezas e granulometrias (Oliveira Neto & Silva, 2021).

## RESULTADOS

Como resultados iniciais, tem-se os graus de vulnerabilidade das diferentes unidades/classes dos mapas-base elaborados, levando-se em consideração a gênese, constituição, formas e estágios de evolução.

### Geologia

A contribuição da geologia para a análise e categorização morfodinâmica da unidade de paisagem envolve informações sobre a história da evolução geológica do ambiente onde a unidade está localizada e o grau de coesão das rochas que a compõem.

Conforme proposto por Crepani et al. (2001), as rochas com maior grau de coesão receberam valores próximos à estabilidade (1,0). Para aquelas com valores intermediários no grau de coesão, foram atribuídos valores intermediários (2,0). Por fim, às rochas com os menores valores nos graus de coesão foram atribuídos valores próximos à vulnerabilidade (3,0). As diferentes classes geoambientais foram discriminadas conforme os graus de vulnerabilidade expostos na tabela 2.

Tabela 2: classificação da vulnerabilidade para o Zoneamento Geoambiental da área de estudo.

Classes	Vulnerabilidade
Formação Barreiras e Embasamento Cristalino	1,6
Leques Aluviais	2,0
Terraços Marinhos	3,0
Zona Úmida	3,0
Dunas Fixas	2,3
Dunas Ativas	2,3
Faixa de Praia	3,0
Corpo d'água	5,0

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

## Geomorfologia

A geomorfologia abrange diversas metodologias e ferramentas de grande importância para pesquisas ambientais, fornecendo suporte na definição e espacialização dos distintos componentes do meio natural. As diversas formas de relevo e suas características estabelecem uma conexão direta com a geologia, os solos e a hidrografia (Guerra & Marçal, 2012).

As diferentes unidades geomorfológicas foram classificadas conforme os graus de vulnerabilidade expostos na tabela 3.

Tabela 3: classificação da vulnerabilidade para geomorfologia da área de estudo.

Classes	Vulnerabilidade
Planícies e Terraços Fluviais	2,1
Planícies Litorâneas	3,0
Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro-Oriental	1,6

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

## Declividade

No que concerne à declividade, Crepani et al. (2001) diz que os valores próximos a 1,0 na escala de vulnerabilidade estão relacionados a pequenos ângulos de inclinação nas encostas, indicando a predominância dos processos formadores de solo da pedogênese. Em contraste, os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde predominam os processos erosivos da morfogênese.

As diferentes classes de declividade foram estabelecidas conforme os graus de vulnerabilidade expostos na tabela 4.

Tabela 4: classificação da vulnerabilidade para declividade da área de estudo.

Graus	Vulnerabilidade / Estabilidade	Graus	Vulnerabilidade / Estabilidade	Graus	Vulnerabilidade / Estabilidade
< 2,0	1,0	9,9 - 11,2	1,7	19,1 - 20,4	2,4
2,0 - 3,3	1,1	11,2 - 12,5	1,8	20,4 - 21,7	2,5
3,3 - 4,6	1,2	12,5 - 13,8	1,9	21,7 - 23,0	2,6
4,6 - 5,9	1,3	13,8 - 15,2	2,0	23,0 - 24,4	2,7
5,9 - 7,3	1,4	15,2 - 16,5	2,1	24,4 - 25,7	2,8
7,3 - 8,6	1,5	16,5 - 17,8	2,2	25,7 - 27,0	2,9
8,6 - 9,9	1,6	17,8 - 19,1	2,3	> 27,0	3,0

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

## Solos

Segundo Florenzano (2008), ao realizar a análise de vulnerabilidade do solo, o grau de maturidade é considerado como o resultado direto do equilíbrio entre morfogênese e pedogênese. Essa medida indica de forma clara se os processos erosivos da morfogênese prevalecem, resultando em solos jovens e pouco desenvolvidos, ou se, por outro lado, as condições de estabilidade favorecem a predominância dos processos de pedogênese, gerando solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos.

Os diferentes tipos de solos foram classificados conforme os graus de vulnerabilidade expostos na tabela 5.

Tabela 5: classificação da vulnerabilidade para pedologia da área de estudo.

Classes	Grau de vulnerabilidade
Argissolo	2,0
Espodossolo	2,0
Gleissolo	3,0
Neossolo	3,0

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

## Vegetação, Uso e Ocupação do Solo

As coberturas vegetais de baixa densidade estão associadas a processos morfogenéticos, enquanto em áreas com maior densidade de vegetação, o desenvolvimento e a maturação do solo são facilitados, resultando na predominância de processos pedogenéticos.

A intervenção humana no contexto do uso e ocupação do solo representa estímulos externos ao sistema, na qual o ambiente é interpretado como partes interdependentes e atuantes para a sobrevivência dos organismos biológicos, não apenas como substrato, mas também como recurso. Atividades humanas, como pecuária, agricultura e áreas urbanas, são exemplos dessas ações na área de estudo.

O impacto de uma atividade sobre uma unidade de paisagem pode levar à sua degradação ou destruição, dependendo da capacidade dessa unidade em absorver os estímulos externos. Nesse sentido, conforme Crepani et al. (2001), a sustentabilidade dessa interação está relacionada ao grau de vulnerabilidade da paisagem: unidades menos vulneráveis tendem a suportar intervenções de forma mais equilibrada, especialmente quando associadas a técnicas de manejo adequadas do ponto de vista conservacionista. Nesses casos, a relação entre uso e conservação pode resultar em benefícios mútuos, caracterizando práticas alinhadas ao conceito de desenvolvimento sustentável.

As diferentes classes de vegetação, bem como de uso e ocupação do solo, foram classificadas conforme os graus de vulnerabilidade expostos na tabela 6.

Tabela 6: classificação da vulnerabilidade para vegetação, uso e ocupação do solo na área de estudo.

Uso e ocupação do solo	Vulnerabilidade
Formação florestal	1,0
Formação savânica	1,0
Mangue	3,0
Silvicultura (monocultura)	2,0
Campo alagado e área pantanosa	3,0
Formação campestre	2,0
Outras formações não florestais	1,0
Pastagem	3,0
Mosaicos de usos	3,0
Praia, duna e areal	2,3
Área urbanizada	3,0
Outras áreas não vegetadas	3,0
Apicum	1,4
Rio, lago e oceano	5,0
Outras lavouras temporárias	3,0
Restinga arborizada	3,0
Restinga herbácea	3,0

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

### Vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira de Esplanada

A aplicação da metodologia proposta, juntamente com os valores de vulnerabilidade/estabilidade definidos e as operações utilizando álgebra de mapas, permitiu a obtenção do mapa de vulnerabilidade natural à erosão na zona costeira do município de Esplanada, que está inserida na APA do Litoral Norte.

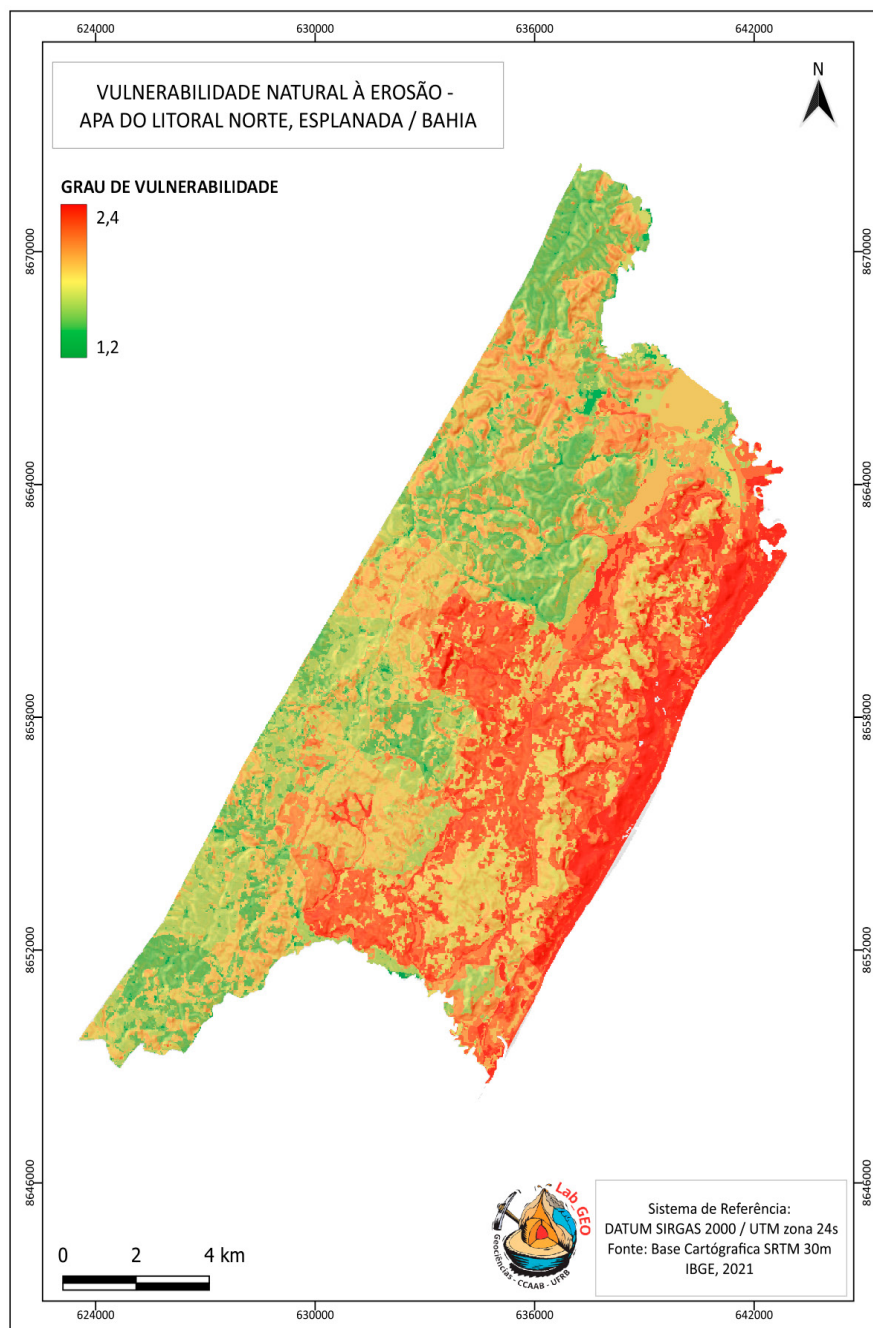
Como observado na Figura 5, a área de estudo apresenta diferentes graus de vulnerabilidade que variam entre baixa/estável a alta/vulnerável (valores obtidos de 1,2 a 2,4). Essa estratégia foi tomada no âmbito do processamento, para fins de separação das porções continentais das porções aquáticas.

As áreas de baixa vulnerabilidade, representadas em tonalidades de cor verde escura e correspondendo a 23% da área, estão localizadas principalmente nas porções norte e oeste da área de estudo, nas regiões onde há maior predominância de formação florestal, além de agropecuária e silvicultura, compreendendo sobretudo áreas de Formação Barreiras e tendo como solos o Latossolo e o Argissolo, indicando uma influência predominante da pedogênese, haja vista serem áreas com baixa declividade.

As áreas de vulnerabilidade média, representadas por tons entre verde-claro e laranja e correspondendo a cerca de 20% da área, ocorrem em zonas de transição entre as porções mais estáveis e as mais suscetíveis à erosão. São locais com predomínio de pastagens e silvicultura, nos quais há equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos. Essas áreas estão associadas a unidades geológicas do Quaternário, compostas por depósitos aluvionares, leques aluviais e terraços marinhos, refletindo condições intermediárias entre os depósitos continentais e marinhos. Os principais tipos de solo encontrados são Latossolos, Argissolos e Neossolos, este último em estágio intermediário de desenvolvimento pedogenético.

As áreas de alta vulnerabilidade à erosão, destacadas em vermelho e abrangendo aproximadamente 46% da área mapeada, coincidem com setores mais dinâmicos do relevo e com menor cobertura vegetal, frequentemente associados a ambientes urbanizados, superfícies expostas, pastagens degradadas e campos de dunas. Nesses locais, predominam Neossolos e Espodossolos, evidenciando condições de instabilidade em que a morfogênese supera a pedogênese. Essa configuração indica maior suscetibilidade a processos erosivos e requer atenção especial quanto à conservação do solo e do relevo.

Figura 5: mapa de vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira de Esplanada, BA.



## CONCLUSÕES

A análise da vulnerabilidade natural à erosão emerge como uma metodologia eficaz para apoiar o planejamento territorial ambiental, possibilitando a avaliação das potencialidades e limitações do meio ambiente. Além disso, proporcionou uma compreensão mais



aprofundada dos processos que podem resultar na degradação da área, identificando as regiões mais e menos propícias à ocupação, por meio da integração de variáveis do meio físico e da intervenção humana.

O estudo identificou três categorias de vulnerabilidade natural à erosão na zona costeira de Esplanada.

As áreas de baixa vulnerabilidade, que representam cerca de 23% da região, estão associadas a setores com cobertura vegetal mais densa e relevo suavizado, predominando formações florestais e uso agropecuário estável, onde a pedogênese atua de forma mais efetiva.

As áreas de vulnerabilidade média, correspondentes a cerca de 20% da área, ocorrem em zonas intermediárias, marcadas por transição entre ambientes estáveis e instáveis, expressando equilíbrio entre pedogênese e morfogênese. Essas áreas estão associadas a unidades geológicas do Quaternário, com solos em estágio evolutivo intermediário.

Por sua vez, as áreas de alta vulnerabilidade, que abrangem aproximadamente 46% do território analisado, correspondem aos ambientes com maior dinâmica morfogenética, caracterizados por relevo acidentado, solos pouco desenvolvidos e escassa cobertura vegetal, frequentemente associados a ambientes costeiros, urbanos ou dunares. Nessas áreas, prevalecem condições de instabilidade erosiva, reforçando a necessidade de planejamento ambiental e ordenamento territorial voltados à preservação das feições naturais e ao controle de processos erosivos.

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que a alta vulnerabilidade natural à erosão predomina, com uma desproporção no número de áreas com baixa vulnerabilidade na área de estudo. Observa-se que essa diferença ocorre devido à presença de áreas vegetadas, menos impactadas pela atividade antrópica. Essa alta vulnerabilidade pode estar associada à influência humana, por ser uma região com uma porção de área urbana, faixa de praia, pastagem e campos de dunas, além da vocação natural para o turismo.

Ressalta-se que a presente análise se restringe às variáveis do meio físico continental, não abrangendo parâmetros dinâmicos relacionados à energia de ondas, marés, correntes litorâneas ou outros processos oceanográficos, cuja investigação requer abordagens metodológicas específicas e poderá ser incorporada em estudos futuros para o aprimoramento do diagnóstico da vulnerabilidade costeira.

Sendo assim, a preservação e conservação de áreas com cobertura vegetal é de extrema importância para a redução da vulnerabilidade à erosão, destacando a relevância da conservação ambiental e do manejo sustentável do solo. Portanto, criar medidas direcionadas à proteção e preservação dessas regiões pode ser essencial para minimizar os impactos causados pela erosão do solo.

Além disso, as metodologias empregadas neste contexto são valiosas para as gestões territoriais, permitindo um ordenamento mais apropriado do ambiente. Isso se deve ao fato de que as áreas ambientalmente mais vulneráveis já são identificadas, requerendo fiscalizações para evitar desgaste precoce do solo, maiores degradações ambientais e alterações extremas na paisagem natural.

## REFERÊNCIAS

- Almeida Junior, M.V.C., Anjos, J.A.S.A., & Sampaio, F.J. (2013). Mapeamento geológico da zona costeira limitada pela foz do rio Pojuca e a praia de Imbassaí, Mata de São João - Bahia. *Geologia USP. Série Científica*, 13(3), 41-50. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201300030005>.
- Aquino, A.R., Palleta, F. C., & Almeida, J.R. (2017). *Vulnerabilidade ambiental*. São Paulo: Blucher, 112 p. : il., color.
- Bahia. (1992). Decreto Estadual nº 1.046, de 17 de março de 1992. *Cria a Área de Proteção Ambiental do Litoral Norte do Estado da Bahia*. Diário Oficial do Estado da Bahia, Ed. 15.010, v. 76, Salvador, 17 mar. 1992. Recuperado de <https://www.ba.gov.br/inema/gestao-2/unidades-de-conservacao/apa/apa-litoral-norte-do-estado-da-bahia>.
- Cerqueira, R. (2000). Biogeografia de restingas e lagoas costeiras. In F.A. Esteves & L.D. Lacerda (eds.). *Ecologia de restingas e lagoas costeiras* (v. 1, p. 65-75). NUPEM/UFRJ, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., Hernandez Filho, P., Florenzano, T.G., Duarte, V., & Barbosa, C.C.F. (2001). *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: INPE, 102p.
- Cuiabano, M.N., Neves, S.M.A.S., Nunes, M.C.M., Serafim, M.E., & Neves, R.J. (2017) Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do Córrego do Guanabara/Reserva do Cabaçal – MT, Brasil. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 36, n. 1, p. 138-156. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12301>.
- Dias, A.N.C., Guadagnin, F., Rangel, C.V.G.T., Chemale Junior, F., Oliveira, T.R.P., Moura, C., Pereira, V.Q., & Alves, J.S.E. (2020). Provenance of Neogene deposits of Barreiras Formation in the southeastern Brazilian continental margin. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 233-249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01949-y>.
- Dominguez, J.M.L., & Bittencourt, A.C.S.P. (2012). Zonas Costeiras do Estado da Bahia. In Barbosa, J.S.F. (coord.). *Geologia da Bahia - pesquisa e atualização*. Salvador: CBPM, 2 v.: il. color. – (série publicações especiais; 13).
- Fernandes, R.T.V., Cavalcante, M.D.L., Cunha, G.N., Pinto, A.R.M., França, C.J.B., Silva, J.M.C.I., Nascimento, L., Dias, N.S., & Oliveira, J.F. (2020). Geoprocessamento aplicado a análise de erosão costeira no delta do Piranhas-Açu, Rio Grande do Norte. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(3), 460-479. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020460-479>.
- Florenzano, T.G (org.). (2008). *Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais*. 318p. São Paulo: Oficina de Textos.
- Guerra, A.J.T., & Marçal, M.S. (2012). *Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 189p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Downloads – Geociências*. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.
- ISA – Instituto Socioambiental. (1992). *Área de Proteção Ambiental Litoral Norte do Estado da Bahia*. Recuperado de <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/2075>.
- Lima, S.S. (2020) Levantamento de drenagem e de feições estruturais lineares através de técnicas de geoprocessamento na microrregião de Boquim, Sergipe. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-572>.
- Lopes, M.S., & Saldanha, D.L. (2016). Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã - RS. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n.9: 1659-1708. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv68n9-44437>.
- Machado, C.N. (2008). *Turismo, direito ambiental e conflitos na produção do espaço: o caso da Reserva Imbassaí e seu entorno na APA Litoral Norte da Bahia*. Dissertação de Mestrado em Geografia Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19837>.

- Martins, L., & Cavararo, R. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Medina, A.I.M., & Dantas, M.E. (2000). *Avaliação da Vulnerabilidade à Erosão*. Salvador: CPRM. Recuperado de [https://www.sgb.gov.br/publique/media/geodiversidade/ps/geomorfologia/geomorfologia\\_avaliacao.pdf](https://www.sgb.gov.br/publique/media/geodiversidade/ps/geomorfologia/geomorfologia_avaliacao.pdf).
- Nunes, J.M.C., & Matos, M.R.B. (2017). *Litoral norte da Bahia: caracterização ambiental, biodiversidade e conservação*. Editora da Universidade Federal da Bahia - EDUFBA. Salvador - BA.
- Oliveira Neto, M.B., & Silva, M.S.L. (2021). *Solos Indiscriminados de Mangues*. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana>. 2021.
- Rossetti, D.F., Bezerra, F.H.R., & Dominguez, J.M.L. Late Oligocene–Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*. v. 123, p. 87-112. ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.005>.
- Santiago, R., Marin, F.B., Caxito, F.A., Neves, M.A., Rangel, C.V.G.T., Calegari, S.S., & Lana, C. (2023). Detrital zircon U–Pb analysis indicate a provenance shift on the Neogene Barreiras formation, atlantic coast of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 131, 104626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104626>.
- Santos, H.G., & Zaroni, M.J. (2021) *Gleissolos*. Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos>.
- Santos, A.C.S., Souza, N.S., & Almeida Junior, M.V.C. (2024). Análise geoambiental da zona costeira de Esplanada, Bahia. *GEOGRAFIA*, Rio Claro-SP, 49-1, 212-235. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v49i1.18164>.
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. (1998). *Informação dos Municípios baianos*. Salvador. V. 3.
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. (2009). *Turismo e desenvolvimento na Área de Proteção Ambiental Litoral Norte (BA)*.
- SEMARH – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2003). *Projeto de Gerenciamento Costeiro “Gestão Integrada da Orla Marítima no Município do Conde no Estado da Bahia”*. Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental do Conde. Centro de Recursos Ambientais (CRA), Salvador, Ba, Brasil, 221p.
- SEPLANTEC – Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia; CONDER Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Salvador. (1995). *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Litoral Norte do Estado da Bahia*.
- SGB - Serviço Geológico do Brasil. (2019). GEOSGB. *Downloads*. Recuperado de <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>.
- Silva, C.R., & Dantas, M.E. (2010). Mapas geoambientais. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*. Maringá - PR.
- Souto, R.D. (org.) (2020). *Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas*. Vol. 1. Edição da autora. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável IVIDES.org, 2020. 259 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3899668>.
- Souza, C.M., Jr., Z. Shimbo, J., Rosa, M.R., Parente, L.L., A. Alencar, A., Rudorff, B.F.T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P.W.M., et al. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12: 2735. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- St. Jean, L.T. (2017). *Análise Espaço-Temporal do Uso e Cobertura da Terra na APA - Litoral Norte do Estado da Bahia (1993-2010), entre os rios Pojuca e Imbassaí*. Dissertação de Mestrado em Geografia, Instituto de

Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/22574>.

Suguio, K., Bidegain, J., & Morner, N. (1986). Dados preliminares sobre as idades paleomagnéticas do Grupo Barreiras e da Formação São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 16, 171-175.

Tavares, K.S.R., Oliveira, I.J., & Romão, P.A. (2022). Adaptação do fator geomorfológico na metodologia de mapeamento da vulnerabilidade à perda de solos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 2: 936-959. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p936-959>.

Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 91p.

Vilas Boas, G., Sampaio, F., & Pereira, A. (2001). The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73 (3), 417-427.

*Recebido em 04/dez./2023*

*Aceito em 10/jun./2025*

*Versão corrigida recebida em 08/out./2025*

*Publicado em 13/10/2025*