

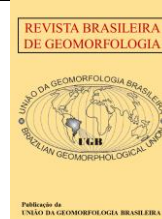


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 4 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i4.2635>



Artigo de Pesquisa

# Vulnerabilidade costeira à erosão e inundação da região de Porto Seguro (BA) e adjacências

*Analysis of the coastal vulnerability index to erosion and flooding in the Porto Seguro region and surrounding areas*

Gabriela Nunes Rebouças Leal <sup>1</sup>, Catarina da Rocha Marcolin <sup>2</sup> e Tatiana Pinheiro Dadalto <sup>3</sup>

- <sup>1</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia/ Instituto Federal de Ciências e Tecnologias da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais, Porto Seguro, Brasil. E-mail: gabrielanunesleal@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0268-1852>
- <sup>2</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia/ Instituto Federal de Ciências e Tecnologias da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais, Porto Seguro, Brasil. E-mail: catarina.marcolin@gfe.ufsb.edu.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3701-3772>
- <sup>3</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia, Centro de Formação em Ciências Ambientais, Porto Seguro, Brasil. E-mail: tatiana.dadalto@gfe.ufsb.edu.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7823-8877>

Recebido: 19/11/2024; Aceito: 30/09/2025; Publicado: 24/11/2025

**Resumo:** A zona costeira constitui um ambiente dinâmico e complexo, com diversidade de ecossistemas, de relevada importância econômica. Tais fatores, elevam a especulação imobiliária nessas áreas, exigindo eficiência na gestão dos recursos naturais e socioeconômicos. O objetivo foi estimar e analisar o índice de vulnerabilidade costeira (IVC) em 25 km de costa entre os municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália (BA), considerando fatores físicos, ambientais e socioeconômicos. Assim, foram avaliados 11 indicadores e o cálculo do IVC abrangeu cenários moderado (CM) e pessimista (CP) em relação ao nível do mar constante e elevado (NMC e ENM), utilizando a técnica de ponderação AHP. Os resultados indicaram que, no cenário moderado (NMC-CM), 12,90% da costa apresentaram baixa vulnerabilidade, 59,77% moderada e 27,33% alta. Em contraponto, no cenário pessimista (NMC-CP), 80,95% da costa demonstrou alta vulnerabilidade. Ao considerar o cenário de elevação eustática do nível do mar (ENM-CM), 35,78% mostrou alta vulnerabilidade, enquanto que no pessimista (ENM-CP), esse índice subiu para 98,48%. As praias da Ponta Grande e Orla Norte, junto às desembocaduras dos rios, apresentaram alta vulnerabilidade e devem ser priorizadas para conservação e adaptação. As informações obtidas são fundamentais para o planejamento do uso e gestão da costa na região.

**Palavras-chave:** geoprocessamento, sensoriamento remoto, ambientes costeiros, gestão costeira, sul da Bahia.

**Abstract:** The coastal zone constitutes a dynamic and complex environment, with a diversity of ecosystems of significant economic importance. These factors increase real estate speculation in such areas, requiring efficiency in the management of natural and socioeconomic resources. The objective of this study was to estimate and analyze the Coastal Vulnerability Index (CVI) along a 25 km stretch of coastline between the municipalities of Porto Seguro and Santa Cruz Cabrália (Bahia, Brazil), taking into account physical, environmental, and socioeconomic factors. A total of 11 indicators were assessed, and the CVI was calculated for both moderate (MS) and pessimistic (PS) scenarios, considering constant and rising sea levels (CSL and RSL), using the AHP weighting technique. Results indicated that, under the moderate scenario with constant sea level (CSL-MS), 12.90% of the coast exhibited low vulnerability, 59.77% moderate vulnerability, and 27.33% high vulnerability. In contrast, under the pessimistic scenario (CSL-PS), 80.95% of the coast showed high vulnerability. When considering the scenario of eustatic sea level rise (RSL-MS), 35.78% of the coast was classified as highly vulnerable, whereas in the pessimistic scenario (RSL-PS), this figure rose to 98.48%. The beaches of Ponta Grande and Orla Norte, along with river mouths, showed

high vulnerability and should be prioritized for conservation and adaptation efforts. The information obtained is essential for coastal planning and management in the region.

**Keywords:** geoprocessing, remote sensing, coastal environments, coastal management, southern Bahia.

---

## 1. Introdução

A zona costeira é um ambiente dinâmico e complexo, onde ocorre a transição e interação entre ar, oceano e terra (Rueda et al., 2017; Gracia Prieto, 2022). Por conta de sua posição estratégica, ampla diversidade de ecossistemas e potencial econômico, esta região obteve um elevado crescimento demográfico estrutural, de maneira, muitas vezes, desordenada. Estima-se que 60% das cidades do planeta com mais 5 milhões de habitantes estão a uma distância de até 100 km da linha de costa (Firth et al., 2016). No Brasil, cerca de 50% da população vive até 150 km da costa (IBGE, 2022).

Tais fatores implicam em uma pressão neste ambiente, sobretudo em um cenário de mudanças climáticas, onde o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos deixam este local mais vulnerável, expondo os ecossistemas e população a processos erosivos e de inundação (Amaro et al., 2021). Rueda et al. (2017) verificaram que 75% das zonas costeiras do planeta tem potencial de inundação. Luijendijk et al. (2018), em um estudo sobre praias arenosas do mundo de 1984 a 2016, identificaram que 24% delas estão em processo erosivo com taxa superior a 0,5 m/ano, 28% estão em acreção e 48% estáveis. Mentaschi et al. (2018) sobre a avaliação global da morfodinâmica costeira ao longo de 32 anos (1984-2015) indicaram que 28.000km<sup>2</sup> da costa está em erosão, enquanto 14.000km<sup>2</sup> está em acreção.

Nesse contexto, compreender as interações dos fatores naturais e antrópicos torna-se necessário a fim de promover uma melhor gestão dos recursos ambientais. Serafim e Bonetti (2017) consideram estratégico desenvolver instrumentos que possam avaliar de forma preditiva a exposição costeira. Os métodos aplicados podem variar conforme a necessidade de contemplar as especificidades do local de estudo (Busman et al., 2016; Zanetti; Souza jr; Freitas, 2016), entretanto, a lacuna dados de monitoramento a longo prazo em áreas costeiras é um desafio, tornando relevantes os esforços científicos nessa direção.

Desta forma, estudos voltados à avaliação da vulnerabilidade costeira através de índices baseados em métricas que integram variáveis ambientais e socioeconômicas tem sido cada vez mais realizados nos últimos anos (Aboudha; Woodroffe, 2010 no sudeste da Austrália; Pantusa et al., 2018 na Itália; Baig et al., 2020 na Índia; Zanetti; Souza Jr; Freitas, 2016 em Santos - SP; Serafim; Bonetti, 2017 em Santa Catarina; Figueiras; Albino, 2020 no Espírito Santo; Carvalho; Guerra, 2020 em praias do Rio de Janeiro; Queiroz; Gonçalves; Mishra, 2022 em Pernambuco; Gouvea Jr; Fernandes; Castro, 2022 na Região dos Lagos – RJ).

No litoral nordeste do Brasil, destaca-se a região dos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, importantes destinos turísticos nacional. Silva et al. (2007) e Fernandino et al. (2019) identificaram praias da região com alta sensibilidade erosiva com potenciais danos econômicos. Em alguns locais é possível observar danos em estradas, além de exposição de raízes e muros de contenção. Ambos têm orla caracterizada por praias arenosas com presença de recifes de corais, arenitos de praia, falésias, mangues, estuários, com densa ocupação de empreendimentos de grande porte como hotéis e barracas de praia.

Com base no que foi exposto, este trabalho tem como intuito estimar e avaliar o índice de vulnerabilidade costeira em um trecho da linha de costa dos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, com o uso de indicadores e cenários que contemplem as características locais e possam fornecer dados sobre os setores costeiros mais vulneráveis, auxiliando a gestão na tomada de decisões estratégicas de mitigação e adaptação em resposta às perturbações costeiras, principalmente as relacionadas ao clima.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo abrange cerca de 25 km da linha de costa dos municípios de Santa Cruz Cabrália (SCC) e Porto Seguro (PS) – BA (Figura 1). Esse segmento conta com 18 praias, sendo quatro em SCC (Arakakaí, Lençóis, Mutari e Coroa Vermelha), sete na orla norte de Porto Seguro (Mutá, Ponta Grande, Taperapuã, Mundaí, Itacimirim, Curuípe e Cruzeiro/Pitangueiras) e seis no distrito de Arraial D'ajuda (Apaga Fogo, Araçaípe, Pescadores, Mucugê, Parracho e Lagoa Azul). A população do município de Porto Seguro é de 168.326 habitantes

e a de Santa Cruz Cabrália é de 30.862 (IBGE, 2022), com um aumento de cerca de 33% da população de Porto Seguro e 11% da população de Santa Cruz Cabrália e de 2010 a 2022.

A linha de costa conta com a presença de recifes de corais costeiros, situados nas praias de Ponta Grande (PS), Mutá (PS) e Coroa Vermelha (SCC), arenitos de praia (beachrock) associados as desembocaduras do Rio Buranhém (PS) e Rio João de Tiba (SCC) e terraços de abrasão. O bioma da Mata Atlântica é predominante na região com feições ambientais de grande relevância biológica associadas como praias, estuários, restingas, mussunungas, brejos, manguezais e floresta aluvial (Carvalho; Pimenta; Schiavetti, 2018). Esse trecho conta a desembocadura de rios. O clima é caracterizado como Af (quente e úmido), conforme a classificação de Köppen, com temperatura média de 24°C. O regime de maré é semidiurna e varia de micromaré (< 2 m) a mesomaré, com amplitude acima dos 2 m, associadas a períodos de maré de sizígia e/ou frentes. Silva (2008) no outono/inverno os ventos e ondas predominantes são de L e SE e na primavera/verão os ventos mais frequentes são de NE.

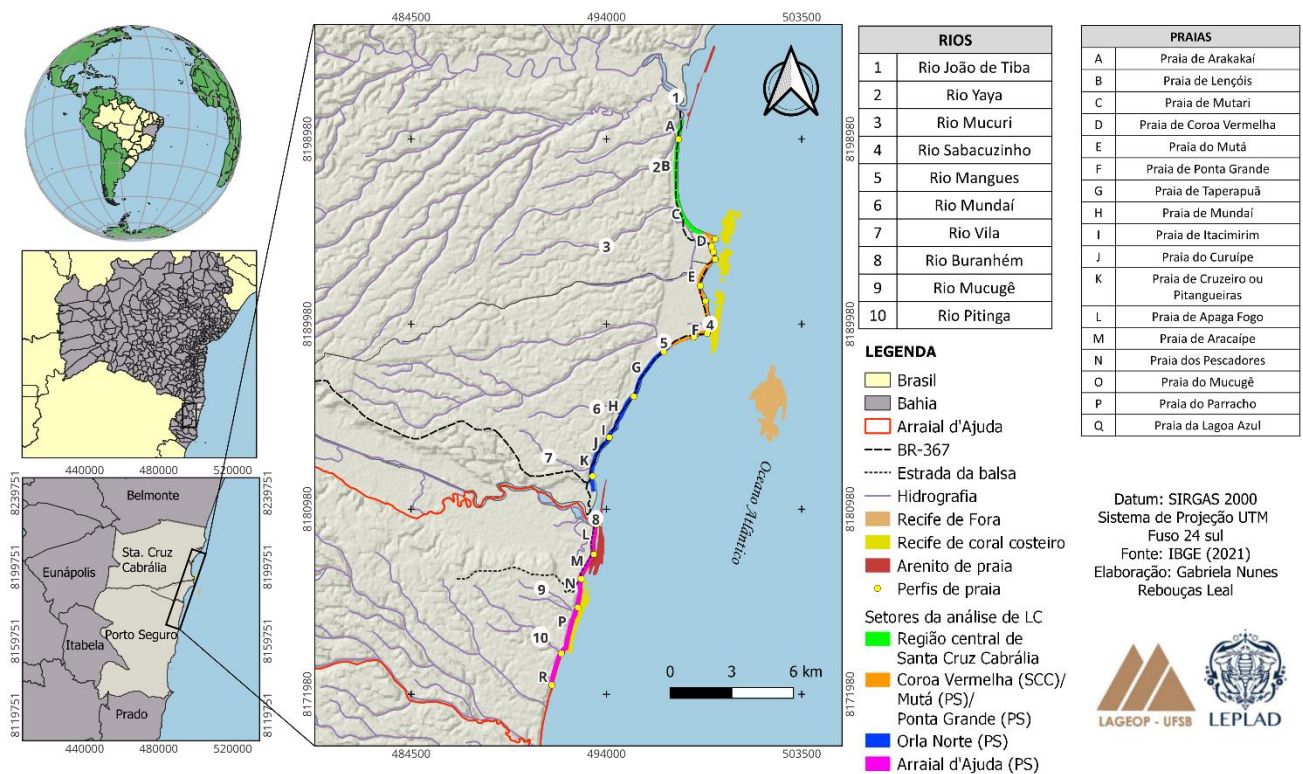


Figura 1. Área de estudo

### 3. Materiais e Métodos

Foram selecionados cerca de 20 artigos, com intuito de averiguar quais indicadores foram avaliados e como os autores realizaram o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira. Após essa etapa, foi realizado um levantamento dos dados socioeconômicos e ambientais já disponíveis para a área de estudo, posteriormente, avaliou-se a viabilidade deles para serem utilizados na construção do índice, em sequência identificou-se dados passíveis de serem gerados.

Em seguida, foram selecionados onze indicadores, tendo como base as características da região estudada, assim como a disponibilidade de dados encontrados e foram atribuídos a eles os critérios de avaliação para o índice de vulnerabilidade considerando as características ambientais, a dinâmica da costa da área estudada, tendo como referências os trabalhos de Gornitz (1991), Bush et al. (1999), Sousa; Siegle e Tessler (2013), Carvalho e Guerra (2020). Três classes de vulnerabilidade foram aplicadas: (1) baixa, (2) moderada e (3) alta. O método de levantamento de dados destes indicadores está descrito abaixo.

### 3.1. Levantamento de dados

- Taxa de variação da linha de costa (m/ano)

Foram utilizadas imagens históricas do *Google Earth Pro* selecionadas conforme a disponibilidade do programa, sob a condição de boa resolução e nenhuma/baixa cobertura de nuvem. A abrangência temporal foi de 18 anos (2006 a 2023). As imagens foram georreferenciadas no ambiente SIG Qgis versão 3.28.8, a partir de 10 pontos de controle pré-definidos.

A linha de costa que se mostrou adequada foi a linha de vegetação (Boak; Turner, 2005), além de estradas, calçamentos, barracas de praia e muros. A extração das linhas de costa foi realizada por meio da construção de arquivos vetoriais tipo linha para cada imagem selecionada e em sequência elas foram mescladas em único arquivo. Com o uso do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS/ ArcMap) versão 5.1, foi feita a análise da taxa de variação da linha de costa.

Nesse estudo, foram traçados transectos de 300m de comprimento, com distância de 50 m. Foi utilizado o método *Linear Regression Rate* (LRR). As classes de vulnerabilidades atribuídas foram baseadas em Pantusa et al. (2018) onde uma variação da linha de costa  $> 1,5$  m/ano é baixa vulnerabilidade (1), de  $-0,5$  a  $1,5$  m/ano como vulnerabilidade moderada (2) e  $< -0,5$  m/ano como alta vulnerabilidade (3).

- Elevação do terreno (m)

Para avaliá-lo foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) da base dados do projeto TOPODATA/ INPE, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m, cenas 15\_405 e 15\_39\_. A classificação foi com base em Carvalho e Guerra (2020), onde locais com  $< 5$  m de elevação foi considerado com alta vulnerabilidade (3), entre 5 e 8 m com vulnerabilidade moderada (2) e  $> 8$  m vulnerabilidade baixa (1).

- Morfodinâmica praial ( $\Omega$ ) e declividade ( $^\circ$ )

A morfodinâmica praial e declividade foram obtidas por meio dos dados de perfis de praia coletados pelo grupo de pesquisa de monitoramento de praias da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), durante o período de novembro de 2018 a outubro de 2019, nos pontos de amostragem apresentados na Figura 1. A declividade da face ( $\tan\beta$ ) foi calculada através do arco tangente. O estado morfodinâmico foi calculado a partir da fórmula de Kriebel et al. (1991):  $\tan\beta = 0,15 \Omega^{-1/2}$ .

Após os cálculos da declividade e morfodinâmica para cada ponto, foi realizada uma interpolação dos dados através do método IDW (*Inverse Distance Weighted*) para obter dados para toda a área estuda em formato raster. Em seguida, foi feita a classificação da vulnerabilidade para ambos os indicadores. No qual, para a declividade  $> 6^\circ$  a vulnerabilidade é baixa (1), de  $3^\circ$  a  $6^\circ$  a vulnerabilidade é moderada (2) e  $< 3^\circ$  a vulnerabilidade é alta (3). Já para a morfodinâmica, as praias classificadas como dissipativas com vulnerabilidade alta (3), as intermediárias como vulnerabilidade moderada (2) e refletivas com baixa (1).

- Tipo de orla

Para este indicador, o tipo de orla foi classificado com uso da nomenclatura sugerida no Projeto Orla (Brasil, 2006), sendo considerado a presença ou não de recifes e/ou arenito de praia que margeiam a linha de costa por meio de identificação visual de imagens de satélite, considerando a exposição da orla em relação a qualquer direção de ondas que possam atingir diretamente ou não a costa. Onde, as praias protegidas tem baixa vulnerabilidade (1), as semiexpostas tem vulnerabilidade moderada (2) e as expostas tem alta vulnerabilidade (3), com base em Serafim e Bonetti (2017).

- Orientação da praia ( $^\circ$ )

Foi realizada a identificação da orientação da linha de costa com auxílio a bússola *Google Earth Pro*, tendo como referência os transectos gerados na análise da taxa de variação da linha de costa. Os dados de orientação foram gerados em arquivo vetorial tipo ponto, e no Qgis foi realizada a interpolação e gerado o arquivo raster para toda área estudada. Em seguida, foi realizada a classificação da vulnerabilidade considerando que a linha de costa

voltada para o quadrante sul ( $120^\circ$  a  $225^\circ$ ) é mais vulnerável, pois recebe as ondas de maior energia (Fernandino et al., 2019). Já a costa orientada para leste ( $67,50^\circ$  a  $120^\circ$ ) recebe as ondas mais frequentes durante o ano, tendo vulnerabilidade moderada e para nordeste ( $45^\circ$  a  $67,50^\circ$ ) as ondas de menor energia, com baixa vulnerabilidade (Fernandino et al., 2019).

- Altura de ondas (m)

O indicador de altura de ondas considerou os resultados encontrados por Fernandino et al. (2019). Os autores modelaram o regime de ondas para costa estudada através do banco de dados do banco de dados do SMC-Brasil, tal sistema abrange uma reanálise de dados globais que produz estados do mar a cada hora no período entre 1948 e 2008, chamado de banco de dados *Global Ocean Waves* (GOW), que permite a descrição de ondas de águas profundas (Reguero et al., 2012 *apud* Fernandino et al., 2019). Como resultado, os autores verificaram que as ondas mais frequentes exibiram alturas médias variando entre 1,0 a 1,5 m. Desta forma, neste trabalho, foi considerado este intervalo (1,0 a 1,5 m) de altura de onda para toda a costa, sendo classificada como vulnerabilidade moderada (2) (Carvalho; Guerra, 2020).

- Presença de desembocaduras (m)

Foi feita uma análise por meio de imagens de satélite utilizadas na taxa de variação da linha de costa da área de migração das desembocaduras dos rios identificados na área de estudo (Figura 1). Em seguida, a partir demarcação dessa área foi medida a área de influência, sendo que, até 50 m toda essa extensão foi classificada como vulnerabilidade alta (3), de 50 a 100 m como vulnerabilidade moderada (2) e acima de 100 m vulnerabilidade alta (3), com base em Sousa et al. (2013).

- Largura da praia (m)

Para este parâmetro foram traçados transectos transversais a cada 100 m da linha de costa de referência descrita no item da taxa de variação da linha de costa até a marca da linha d'água. Após esse processo, foi realizado a classificação da vulnerabilidade tendo como referência Ribeiro et al. (2013), onde trechos com largura > 30 m foram classificados como vulnerabilidade baixa (1), entre 20 a 30 m com vulnerabilidade moderada (2) e < 20 m vulnerabilidade alta (3).

- Ocupação e vegetação (%)

A ocupação e a vegetação foram obtidas pelo mesmo método, através da classificação supervisionada a partir da imagem do satélite CBERS – 4 A, do dia 30/12/2023, fornecida pelo catálogo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais). Foi realizado um recorte da imagem para a área de estudo, logo após foi feita uma composição colorida com o uso das bandas 1, 2, 3 e 4 e em seguida uma fusão pancromática, com o auxílio da ferramenta *Pansharpening* no programa QGIS, para que a imagem de 8 m de resolução ficasse com 2 m de resolução.

Com o uso do complemento *dzetsaka*, foi realizada a classificação supervisionada da imagem. Após este procedimento, foi analisada as porcentagens de vegetação e ocupação em trechos de ~1000 metros de distância. Posteriormente, foi realizada a classificação da vulnerabilidade, adaptado de Sousa et al. (2013), considerando que trechos com > 60% e < 30%, para vegetação e ocupação, respectivamente, possuem baixa vulnerabilidade (1), entre 30 e 60% para ambos indicadores possuem vulnerabilidade moderada (2) e < 60% e < 30% de ocupação e vegetação, em sequência, tem alta vulnerabilidade (3).

**Tabela 1.** Classes de vulnerabilidade para cada indicador.

INDICADORES	BAIXA	MODERADA	ALTA
	1	2	3
Elevação do terreno (m)	> 8	5 a 8	< 5
Declividade (°)	> 6	3 a 6	< 3
Morfodinâmica praial	Refletiva	Intermediária	Dissipativa
Presença de desembocaduras (m)	>100	50 a 100	< 50
Orientação da praia (°)	45 a 67,50	67,50 a 120	120 a 225
Tipo de orla	Protegida	Semi-exposta	Exposta
Largura da praia (m)	> 30	20 a 30	< 20
Vegetação (%)	> 60	30 a 60	< 30
Taxa de Variação da Linha de Costa (m/ano)	> 1,5	-0,5 a 1,5	< -0,5
Ondas (m)	< 0,5	0,5 a 1,5	> 1,5
Ocupação (%)	< 30	30 a 60	> 60

### 3.2. Índice de vulnerabilidade costeira (IVC)

- Condições e cenários

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira foram avaliadas duas condições em dois possíveis cenários. A primeira condição considera o nível do mar constante (NMC) atual em relação às flutuações eustáticas. Já a segunda condição considera a projeção mais pessimista de elevação eustática do nível médio do nível do mar (ENM) do IPCC (2023) em um cenário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) muito altas (SSP5-8,5), com aumento de 0,20-0,29 m até 2050 e 0,63-1,01 m até 2100.

No que se refere aos cenários, foi considerado cenário moderado (CM), atribuindo o grau de vulnerabilidade 2, a combinação de maré sizígia/chuva moderada (100 a 150mm) ou maré quadratura/ frente fria. E o cenário pessimista (CP), onde o grau de vulnerabilidade foi 3, levou em conta a combinação de maré sizígia/ chuva intensas (< 300mm) / frente fria. A configuração destes cenários considerou como pluviosidade moderada os volume de chuva ocorrido nos meses de novembro e dezembro de 2022 nas cidades de Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia, e como alta pluviosidade o evento extremo ocorrido no dia 21/04/2023 onde o volume de chuva na cidade de Santa Cruz Cabralia ultrapassou os 300mm (Cemaden, 2024).

- Ponderação dos indicadores e cálculo do IVC

Foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (PAH) desenvolvido por Saaty (1987) para ponderar os indicadores, utilizado com frequência em estudos de vulnerabilidade costeira (Gargiulo; Battarra; Tremitterra, 2020). O método utiliza uma matriz de comparação pareada entre as variáveis de estudo, a qual se atribui um valor

de julgamento seguindo uma escala de importância que varia de 1 (igual importância) a 9 (extrema importância), conforme a Tabela 2. Neste trabalho, as condições NMC e ENM foram consideradas como indicadores para compor o cálculo do índice de vulnerabilidade costeira. Como tais condições estão associados a cenários climáticos-oceanográficos, foi atribuído um peso maior para elas, sendo que, o NMC o peso atribuído foi de 5 em relação a todos os outros indicadores e para o ENM foi atribuído o peso 7. Desta forma, foram calculados dois pesos para cada indicador e condições.

**Tabela 2.** Escala fundamental de intensidade de importância de Saaty (1977, 1987).

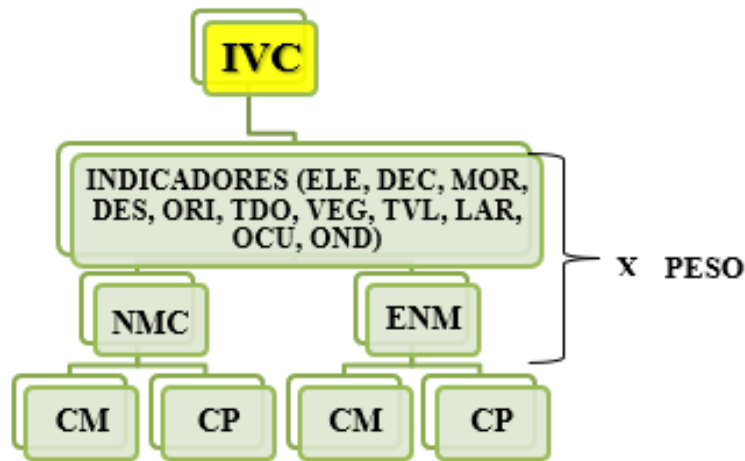
INTENSIDADE DA IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igual importância	Duas atividades contribuem com mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento da outra.
5	Grande importância ou importância essencial	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre outra.
7	Importância muito grande	Uma atividade é fortemente favorecida em detrimento da outra; sua dominância é demonstrada na prática
9	Extrema importância	A evidência que favorece uma atividade em detrimento da outra é da mais alta ordem possível de afirmação
2,4,6,8	Valores intermediários entre níveis de importância adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Princípio da reciprocidade	Quando uma atividade i recebe uma das designações acima quando comparada com j, então j terá valor recíproco quando comparado com i.	Uma suposição razoável.

Para reduzir a subjetividade das avaliações da matriz pareada, calculou-se a razão de consistência (RC), dada por:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Eq (1)

O RC para as duas matrizes foram 0,081 e 0,093, respectivamente. Sendo assim o cálculo do índice foi realizado conforme o organograma abaixo:



**Figura 2.** Organograma do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC). Onde: ELE - elevação do terreno, DEC - declividade, MOR – morfodinâmica praial, DES – presença de desembocaduras, ORI - orientação, TDO – tipo de orla, VEG - vegetação, TVL - taxa variação linha de costa, LAR - largura, OCU - ocupação, OND – altura de ondas, NMC – nível do mar constante, ENM – elevação eustática do nível médio do mar, CM – cenário moderado, CP – cenário pessimista.

$$IVC = ELE * p + DEC * p + MOR * p + DES * p + ORI * p + TDO * p + VEG * p + TVL * p + LAR * p + OCU * p + OND * p + NMC \text{ ou } ENM/CM \text{ ou } CP * p$$

*p* corresponde ao peso de cada indicador

Eq. (2)

O resultado do IVC encontrado para a condição de NCM em cenário moderado foi dividido em três intervalos iguais no ambiente SIG para determinar a vulnerabilidade baixa, moderada e alta. Os mesmos intervalos foram aplicados nas demais condições e cenários. Sendo assim, segmentos com valor  $\leq 1,91$  o índice de vulnerabilidade costeira a erosão e inundação foi classificado como baixo, entre 1,91 a 2,16 a vulnerabilidade moderada e acima de 2,16 vulnerabilidade alta.

## 4. Resultados

### 4.1. Vulnerabilidade conforme os indicadores

Os resultados em relação a elevação do terreno sugerem vulnerabilidade alta em 87,04% da linha de costa e 12,96% de vulnerabilidade moderada, concentrados em maior parte nas praias de Arraial d’Ajuda (Figura 3). A declividade variou de 2,06° situado na praia do Mutá – PS a 9,19° na praia de Arakakaí - SCC, com média e mediana de 6,35° e 6,45°, respectivamente. Sua vulnerabilidade foi baixa em 69,77% da linha de costa, moderada em 28,41% e alta em 1,48%.

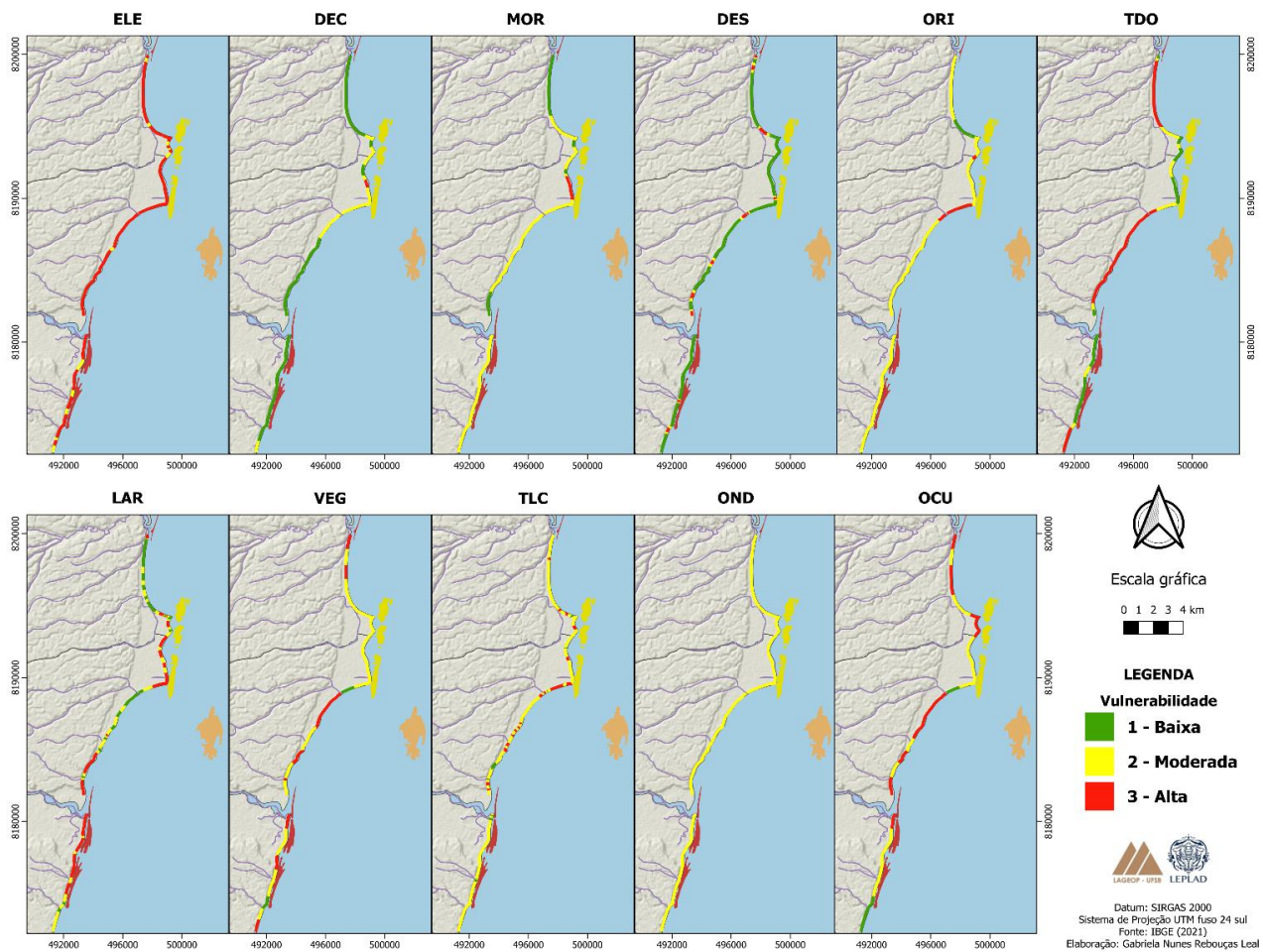
Quanto à morfodinâmica, 21,99% da linha de costa exibiu baixa vulnerabilidade, classificadas como praias refletivas, situados, principalmente, nas praias da região central de Santa Cruz Cabralia, em 72,51% como moderada (praias intermediárias), abrangendo todas as praias de Arraial D'ajuda e Orla Norte de Porto Seguro e 5,50% com alta vulnerabilidade, sendo praias dissipativas, localizada no arco praial da praia do Mutá (Figuras 1 e 3).

O valor de ômega variou de 0,89 a 17,79, com média de 6,35. A largura da praia variou de 91,70 m, situado na foz do Rio dos Mangues, a 7,85 m, localizado na praia de Ponta Grande, com média de 28,02 m e mediana de 26,10 m. A vulnerabilidade foi baixa em 28,14% da costa para este indicador, 41,98% moderada e 40,69% alta, consequentemente.

A análise da taxa de variação da linha de costa gerou 616 transectos, o maior recuo foi de 1,80 m/ano na praia de Ponta Grande, enquanto a maior progradação foi de 2,28 m/ano situado na entre as praias do Cruzeiro e Curuípe (Figuras 1 e 3) para o período de 2006 a 2023, com variação média de 0,40 m/ano. Os resultados quanto a vulnerabilidade indicou que a costa analisada se encontra 82,85% moderada, 4,00% com baixa vulnerabilidade, estando em progradação, enquanto 13,14% tem vulnerabilidade alta, em estado erosivo, concentrados, principalmente, na Praia de Ponta Grande.

Foram identificadas dez desembocaduras de rios ao longo dos ~25km de linha de costa (Figura 1). Com base neste parâmetro, 83,74% da costa foi classificada como baixa vulnerabilidade, 7,46% moderada e 8,97% alta. Em relação à orientação da praia, 6,18% da costa estão com baixa vulnerabilidade, 84,81% e 9,01% como moderada e alta, respectivamente. A análise do tipo da orla em relação a presença de recifes mostrou que 32,08% da linha de costa é abrigada, classificada como baixa vulnerabilidade, 20,61% como vulnerabilidade moderada, enquanto 47,31% das praias são expostas, com alta vulnerabilidade a erosão e inundação.

O indicador de vegetação demonstrou que 6,24% da área tem baixa vulnerabilidade, 63,64% com vulnerabilidade moderada e 30,12% com alta vulnerabilidade. A ocupação costeira indicou uma vulnerabilidade baixa de 11,68%, e 47,63% e 40,69%, respectivamente. Em relação as ondas, toda linha de costa estudada foi classificada como moderada.



**Figura 3.** Mapa de vulnerabilidade costeira por indicador da área de estudo. ELE - elevação do terreno, DEC - declividade, MOR - morfodinâmica, DES – presença de desembocaduras, ORI - orientação, TDO – tipo de orla, VEG - vegetação, TVL – taxa de variação linha de costa, LAR – largura da praia, OCU - ocupação, OND – altura de ondas. Conforme as classes da Tabela 1.

#### 4.2. Índice de vulnerabilidade costeira (IVC) – condições e cenários

Os resultados do IVC considerando o cenário moderado na condição de nível médio do mar constante (NMC – CM), o índice de vulnerabilidade costeira indicou que 12,90% da costa foi classificada com baixa vulnerabilidade, 59,77% com vulnerabilidade moderada e 27,33% com alta vulnerabilidade (Figura 4), concentrados na Orla Norte (PS) e praia de Ponta Grande (PS). Já condição de elevação eustática do nível médio do mar em um mesmo cenário (ENM – CM), a vulnerabilidade foi baixa em 6,30% da costa, moderada em 57,92% e alta em 35,78%.

Quando foi calculado o IVC nas duas condições (NMC e ENM) em um cenário com frente fria, maré sizígia e meteorológica (CP) a linha de costa não apresentou local com baixa vulnerabilidade, e houve um aumento elevado de locais com alta vulnerabilidade a erosão e inundação, sendo que na condição NMC, 80, 95% da costa passou a ter vulnerabilidade alta e em ENM 98,48%.

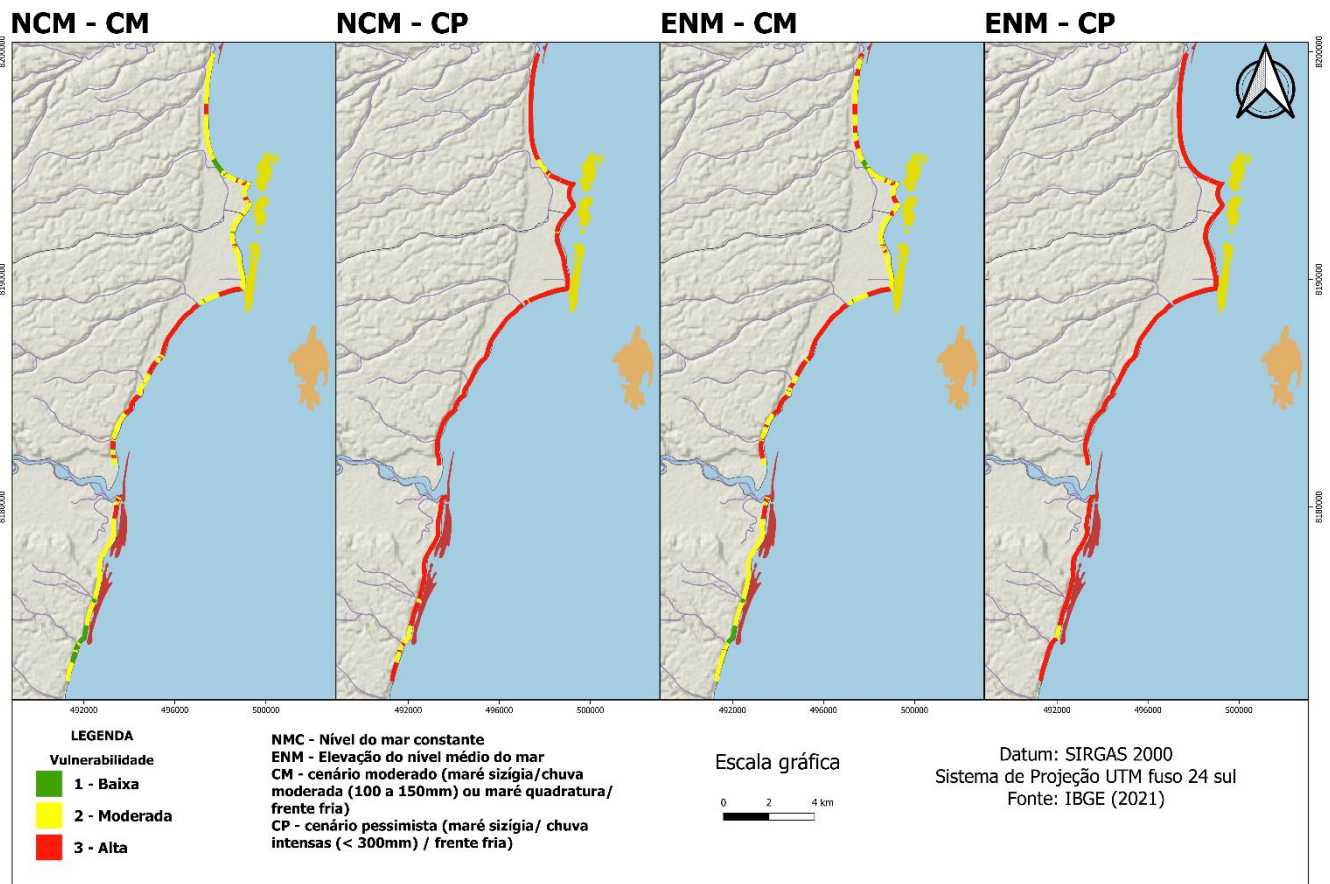


Figura 4. Mapa do índice de vulnerabilidade costeira nas condições de NMC (nível médio do mar constante) e ENM (elevação do nível médio do mar) em cenário moderado (CM) e cenário pessimista (CP).

## 5. Discussão

Essa pesquisa avaliou a vulnerabilidade costeira relativa, agregando fatores físicos, ambientais e socioeconômicos. O conjunto de indicadores utilizados para compor o índice analisou as especificidades do local, o que Bonetti e Woodroffe (2017) ponderaram como melhor alternativa, embora esta abordagem seja limitada no que diz respeito à comparação com outros locais.

Os resultados referentes a declividade e morfodinâmica, gerados a partir de dados coletados em campo, possibilitaram uma representação espacial consistente. Tais indicadores são relacionados entre si, uma vez que as praias dissipativas se caracterizam por apresentarem um perfil plano e suave, enquanto as praias intermediárias e refletivas tendem a se configurar com perfil mais íngreme (Calliari, 2003; Barros; Wasserman, 2022). As condições de declividade indicaram baixa vulnerabilidade para a maior parte da área de estudo, associadas a praias intermediárias e refletivas.

No que diz respeito a variação da linha de costa, a praia de Ponta Grande foi o local onde se concentrou o maior trecho erosivo, caracterizado por danificar a infraestrutura da BR 367, gerando transtornos para a população, pois é a principal via de acesso entre os municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália. Esse fenômeno ocorre devido a combinação das características do clima de ondas da região, onde as ondas SSE sofrem uma intensa difração no Recife do Fora chegando na costa com mais energia, por conta da orientação da praia, que é voltada para o quadrante sul, além da presença da estrutura rígida da BR 367 (Fernandino et al., 2019).

Por conta da intensa ocupação, uma maior vulnerabilidade foi observada na Orla Norte (PS), região central de Porto Seguro e na praia de Coroa Vermelha (SCC). A expansão da ocupação da zona costeira é considerada como o principal indutor da supressão vegetal da restinga (França; Gomes, 2022; Carvalho et al., 2018). Nos resultados da vulnerabilidade para estes indicadores (ocupação e vegetação) é possível observar uma relação entre eles, dado que os trechos com alta taxa de ocupação apresentaram baixa cobertura vegetal.

Observou-se que a largura da praia apresentou segmentos menos vulneráveis nas praias de Santa Cruz Cabrália, pois a ocupação é mais distante do mar, permitindo que a faixa de areia se desenvolva durante as fases de acreção (tempo bom/verão) e reacomode os sedimentos erodidos durante os períodos erosivos (frentes frias/inverso), apesar desta orla ser também urbanizada. Em contraponto, nas praias de Coroa Vermelha, Mutá, Ponta Grande e em Arraial d'Ajuda a presença de recifes margeando a costa, junto a equipamentos urbanos próximos ao mar, reduz a faixa de areia da praia. Assim, durante a maré alta o acesso fica limitado, impossibilitando a passagem e o uso recreativo. Além disso, a largura praial estreita associada a urbanização da linha de costa pode influenciar o processo natural de mobilidade das ondas e alterar os padrões de dinâmica sedimentar, pois nesses locais não há o espaço de acomodação necessário, dessa forma essas praias ficam mais vulneráveis a processos erosivos (Barros; Wasserman, 2022).

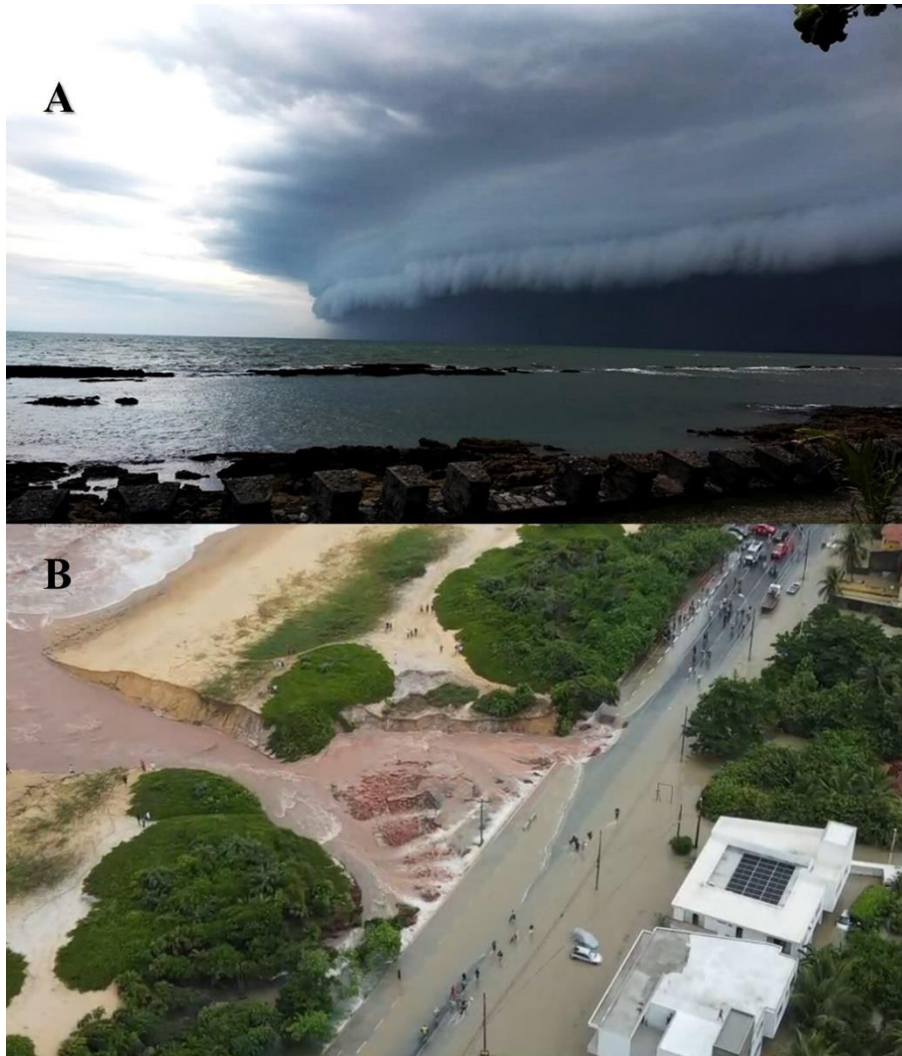
Na Orla Norte de Porto Seguro o segmento menos vulnerável em relação a largura de praia está relacionado a desembocadura do rio dos Mangues, que apresentou a maior mobilidade da foz na linha de costa com deslocamento de cerca de 600 m em direção ao sul. A migração de desembocaduras pode ocasionar a modificação da deriva litorânea nos trechos de praia associados a ela, sobretudo quando o fluxo fluvial for mais intenso que a deriva, de maneira que intensifica o acúmulo de sedimento a barlar da deriva litorânea e erosão intensa a sotamar (Souza et al., 2005; Marino et al., 2016). No caso do Rio dos Mangues observa-se danos a construções onde o rio se desloca, no qual sacos de areia estão sendo utilizados como proteção, enquanto na barlar há presença de manguezal e não conta com ocupação, mantendo a praia mais preservada.

É necessário ponderar que a lacuna dos dados de ondas da área de estudo mais recentes e detalhados limitou uma análise mais profunda deste indicador. Este mesmo problema também ocorreu em relação ao indicador de elevação do terreno, onde a baixa resolução espacial do MDE pode ter gerado resultados mais generalistas da altimetria da área de estudo. Neste sentido, é necessário esforços na produção de dados locais.

### 5.1. Índice de vulnerabilidade costeira (IVC) - condições e cenários

Os resultados do cálculo indicaram que o cenário de maré e chuvas/frentes frias (CP) é mais determinante para a vulnerabilidade do que a elevação eustática do nível médio do mar. Ao observar os cenários moderado e pessimista na condição de NCM, o aumento de setores de alta vulnerabilidade foi de 53,68%, e na condição de ENM foi de 62,70%. Esses fatores indicam que compreender os efeitos dos eventos climáticos de frentes frias sobre marés meteorológicas é tão necessário quanto projetar as consequências da futura elevação do nível médio do mar, pois os impactos destes fenômenos já são observados na zona costeira da região.

Nos últimos anos, ocorreram alguns eventos que ilustram os cenários acima descritos: i) a tempestade tropical ocorrida no início de dezembro de 2018 (Figura 5), onde os ventos fortes e chuvas intensas provocaram inundações e danificaram estruturas comerciais da região (Sul Bahia News, 2018); ii) a tempestade tropical IBA (termo em tupi-guarani que significa "ruim"), que provocou ressaca no mar e ventos fortes no litoral em 2019 (G1, 2019) e iii) as fortes chuvas que atingiram a região em abril de 2019, sobretudo na cidade de Santa Cruz Cabrália, onde choveu aproximadamente 400 mm em apenas um dia (21/04/2023), provocando a elevação dos rios, principalmente o Yaya, inundando toda a parte baixa da cidade, causando o rompimento da barreira costeira que conduz seu fluxo em direção ao norte até a desembocadura (Figura 5). Nesta ocasião foi decretado estado de emergência nos municípios e cerca de 4 mil pessoas ficaram desabrigadas.



**Figura 5.** **A** - tempestade tropical em 2018. Fonte: Sul Bahia News (2018). **B** - Erosão e inundação ocorrida em Santa Cruz Cabralia em abril de 2023, com o rompimento da barreira costeira do Rio Yaya. Fonte: Belmonte News (2023).

Esses eventos ocorreram com a chegada de frentes frias associadas a maré sizígia (DHN 2018/2019/2020), fatores que potencializam a vulnerabilidade costeira, pois a cota de inundação permanece elevada por mais tempo, dificultando o escoamento fluvial, além das ondas atingirem a costa com mais intensidade (Gouveia Jr; Fernandes; Castro, 2022). Cabe observar que, em cenário de chuvas extremas associados a maré meteorológica e astronômica, praticamente toda zona costeira tem alto grau de vulnerabilidade nas duas condições analisadas, até mesmo nas praias que são margeadas por recifes ou arenitos de praia. Isso porque durante a maré astronômica, em conjunto com a passagem de frentes frias, a subida do nível do mar sazonal ultrapassa a altura desses ecossistemas e assim as ondas atingem diretamente a costa.

Com a elevação eustática do nível médio do mar, acredita-se que a alta vulnerabilidade será constante, pois ocorrerá o aumento da profundidade da coluna d'água, deixando os recifes e bancos de arenitos mais tempo submersos. Dessa forma, a capacidade de atenuação da energia das ondas ficará reduzida e as praias ficarão expostas, colocando em risco habitats, estruturas costeiras e a biodiversidade, impactando diretamente a economia da região, que depende diretamente desses recursos naturais (Ferrario et al., 2014, Siegle; Costa, 2017; Summers et al., 2018; Elliff et al., 2019).

A ocupação costeira foi considerada o indicador de maior relevância no índice de vulnerabilidade costeira, assim como nos estudos de Marino et al. (2016), em praias do Ceará, e de Hzami et al. (2021), no Norte da África. Todavia, embora o método tenha gerado resultados importantes, é necessário considerar a subjetividade da seleção

dos indicadores adotados e na definição dos intervalos de vulnerabilidade, aspectos que devem ser atentamente observados na interpretação das análises.

Outro ponto a ser destacado é o fato de ambos os municípios estudados não portarem um plano municipal de gerenciamento costeiro, uma ferramenta importante para estabelecer as diretrizes de uso da zona costeira com o intuito de preservar seus recursos (Bahia, 2018). Estudos da CI (2013) projetam um aumento de temperatura de 2,1 °C para Santa Cruz Cabrália e 2,3 °C em Porto Seguro - BA até 2050. Com uma estimativa de elevação do nível médio do mar em 50 cm, cerca de 58 milhões de dólares investidos pelo setor hoteleiro podem estar comprometidos, visto que muitos deles estão localizados entre 10 a 60 m da linha da costa (CI, 2013).

Sabe-se que gerir um local de interesses múltiplos, sejam eles culturais, econômicos, ambientais e políticos é desafiador. Além disso, o poder público deve considerar impactos das mudanças climáticas e os objetivos estabelecidos pela agenda 2030 da ONU. Neste sentido, os dados gerados neste trabalho podem contribuir para estabelecer prioridades de atuação no planejamento de medidas de prevenção e adaptação da zona costeira na região.

A elaboração de táticas para lidar com as mudanças climáticas, com foco na proteção da costa, deve ser uma prioridade nos planos de ação dos municípios. É fundamental promover programas de monitoramento ambiental que permitam a coleta de informações para avaliar vulnerabilidades e planejar de forma adequada a utilização e ocupação das áreas litorâneas. Adicionalmente, é necessário garantir a observância das regulamentações referentes às Áreas de Preservação Permanente (APPs) e, quando for necessário, estabelecer unidades de conservação em terrenos não habitados à beira-mar, com o objetivo de facilitar a recuperação da vegetação de restinga e reforçar seu papel na retenção de sedimentos. Além disso, é válido considerar a realocação e/ou retirada dos estabelecimentos situados em locais de mobilidade de desembocaduras, pois estes locais são vulneráveis tanto para a erosão quanto para a inundação.

## 6. Conclusões

De maneira geral, o IVC apresentou resultados relevantes, sobretudo ao demonstrar que a combinação de frentes frias, chuva e maré sizígia e meteorológica deixa a zona costeira altamente vulnerável, fator que já é visível durante a passagem de eventos extremos ocorridos nos últimos anos da região. Com o advento da elevação eustática do nível médio do mar os desafios se tornarão maiores, tendo impacto na configuração de ocupação da orla. Neste sentido, estratégias de adaptação devem ser priorizadas em um plano de gerenciamento costeiro, considerando os diversos atores envolvidos no cenário político, ambiental e social.

A ponderação por meio do método AHP teve como intuito determinar valores quantitativos de importância para cada indicador e condição analisada. Os indicadores mais relevantes na ponderação da vulnerabilidade costeira foram ocupação, taxa de variação da linha de costa, orientação e largura da praia. É importante ressaltar que o método apresenta subjetividades, principalmente relacionado a seleção de indicador e atribuições dos graus de vulnerabilidade. No entanto, o produto final que foi o cálculo do índice apresentou resultados coerentes ao mostrar que locais onde já são observados danos erosivos e de inundação teve alta vulnerabilidade.

Ressalta-se algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho, como a ausência de dados de onda atualizados, dados da população flutuante (e por bairro), assim como a falta de um modelo digital de elevação – MDE com resolução radiométrica de qualidade. Com base nisso, considera-se relevante a implementação de uma boia oceanográfica, o estabelecimento de esforços no monitoramento contínuo das praias, além do levantamento e espacialização de dados socioeconômicos, imagens de sensoriamento remoto com alta resolução espacial, população flutuante e capacidade de carga da orla.

Por ser uma região de destaque no turismo nacional impulsionada pela riqueza de ecossistemas naturais, este trabalho poderá ser utilizado como referência para projetos de gestão costeira pelo poder público e/ou privado, sobretudo no que diz respeito a erosão e a inundação. Os segmentos que foram classificados com grau de alta vulnerabilidade já em cenário moderado, como a praia da Ponta Grande (PS) e as praias da Orla Norte (PS), além das desembocaduras, deverão ser locais prioritários para a tomada de medidas de conservação/adaptação, podendo ter a realocação de infraestrutura costeira, como a BR-367.

Além disso, outros indicadores poderão ser incorporados ao índice, como, por exemplo, dados de vazão dos rios, balneabilidade das praias, ocorrência de florações, assim como outros tipos de vulnerabilidade poderão ser

analisados, como o efeito de frente frias e elevação eustática do nível médio do mar nos ecossistemas e biodiversidade costeira.

**Contribuições dos Autores:** Concepção e metodologia, G.N.; C.M.; T.P.; software, validação, análise formal, pesquisa, preparação de dados e escrita do artigo G.N.; revisão e supervisão, C.M. e T.P. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – Fapesb, por meio de bolsa de mestrado, pedido n° 4884, termo de outorga de bolsa n° 00061465910.

**Agradecimentos:** Agradecemos aos revisores deste artigo por suas contribuições, ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais (UFSB/IFBA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudos.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

## Referências

1. ABUODHA, P. A.O.; WOODROFFE, C. D. Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia. **Journal of coastal conservation**, v. 14, p. 189-205, 2010. DOI: 10.1007/s11852-010-0097-0
2. AMARO, V. E. et al. Análise de Índices de Vulnerabilidade Física com uso de Geotecnologias na Região da Barreira do Inferno/RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 179-192, 2021. DOI: 10.21680/2447-3359.2021v7n2ID22034
3. BAIG, M. R. I. et al. Coastal vulnerability mapping by integrating geospatial techniques and analytical hierarchy process (AHP) along the Vishakhapatnam coastal tract, Andhra Pradesh, India. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 49, p. 215-231, 2021. DOI: 10.1007/s12524-020-01204-6
4. BARROS; WESSERMAN. A evolução dos usos das praias e seus conceitos. IN: BOMBANA, Briana, TURRA, Alexandra; POLETTE, Marcus (Org.). **Gestão de praias: do conceito à prática**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2022.
5. BRASIL. 2016. Ministério do Turismo. **Bahia tem novo mapa do turismo**. Disponível em: <<http://www.turismo.gov.br/%C3%BAltimas-not%C3%ADcias/6466-bahia-tem-novo-mapa-tur%C3%ADstico.html>>. Acesso em: 05/05/2024
6. BONETTI, J. E.; WOODROFFE, C. D. Spatial Analysis on GIS for Coastal Vulnerability Assessment. In: BARTLETT, D. & CELLIERS, L. (eds.). **Geoinformatics for Marine and Coastal Management**. Cap. 16. CRC Press, Boca Raton, p. 367-396, 2017.
7. BUSH, D. M. et al. Utilization of geoinformatics for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, v. 42, n. 8, p. 647-670, 1999. DOI: 10.1016/S0964-5691(99)00027-7
8. BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v.21, n.4, p. 688–703, 2005. ISSN 0749-0208.
9. BUSMAN, D. V.; AMARO, V. E.; SOUZA FILHO, P. W. M. Análise estatística multivariada de métodos de vulnerabilidade física em zonas costeiras tropicais. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, vol. 17, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i3.912
10. CALLIARI, L. J. et al. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista brasileira de oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003. DOI:10.1590/S1679-87592003000100007

11. CARVALHO, B. C.; GUERRA, J. V. Coastal vulnerability of Rio de Janeiro shoreline (SE Brazil) due to natural and social impacts. **Journal of Coastal Research**, v. 95, p. 759-763, 2020. DOI: 10.2112/SI95-148.1
12. CARVALHO, R. C. O de; PIMENTA, F. de S.; SCHIAVETTI, A. Museu aberto do descobrimento (MADE) na Bahia, Brasil: geossistema e vulnerabilidade ambiental. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 4, p. 16-32, 2018. DOI:10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n4.34093
13. ELLIFF, C. I. et al. Wave attenuation and shoreline protection by a fringing reef system. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 87-94, 2019.
14. FRANÇA, J.; GOMES, I. E. Orla Marítima em Regiões de Grande Especulação Imobiliária no Extremo Sul da Bahia: Caracterização de Mudanças No Uso de Solo e Mapeamento de Acessos Públicos Às Praias. **Costas**, v. 4, n. 1, p. 59-70, 2022. DOI:10.25267/Costas.2023.v.3.i2.04
15. FERNANDINO, G. et al. Erosional patterns induced by coral reefs in the eastern coast of Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, 2019. DOI:10.22456/1807-9806.91391
16. FERRARIO, F. et al. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature communications**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2014. DOI:10.1038/ncomms4794
17. FILGUEIRAS, G. D. L.; ALBINO, J. Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo. **Revista do Departamento de Geografia**, v.40, p. 78-93, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.165831
18. FIRTH, L. B. et al. Ocean sprawl: challenges and opportunities for biodiversity management in a changing world. In: DALE, A. C.; SMITH, I. P.; HUGHES, R. N.; HUGHES, D. J. (Eds.). **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**. Boca Raton: CRC Press, p. 193–269, 2016.
19. GARGIULO, C.; BATTARRA, R.; TREMITERRA, M. R. Coastal areas and climate change: A decision support tool for implementing adaptation measures. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104413, 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104413
20. GRACIA PRIETO, F. J. The complexity of studying coasts: From forms and processes to management. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, Logroño, SPA, v. 48, n. 2, p. 219–255, 2022. DOI: 10.18172/cig.5451
21. GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 89, n. 4, p. 379-398, 1991. DOI: 10.1016/0031-0182(91)90173-O
22. GOUVEA JR, W. C.; FERNANDES, D.; CASTRO, J. W. de A. Análise das variáveis físicas e dinâmicas do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) na enseada da Baía Formosa, Região dos Lagos Fluminense, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 4, p. 1812-1833, 2022. DOI: 10.20502/rgb.v23i4.2144
23. HZAMI, A. et al. Alarming coastal vulnerability of the deltaic and sandy beaches of North Africa. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 2320, 2021. DOI:10.1038/s41598-020-77926-x
24. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: < <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/porto-seguro/panorama>>. Acesso em: 30/11/2023
25. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/santa-cruz-cabralia/panorama>>. Acesso em: 30/11/2023
26. LUIJENDIJK, A. et al. The state of the world’s beaches. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-24630-6

27. KLEIN, A. H. da F. Um método indireto para a determinação do estágio morfodinâmico de praias oceânicas arenosas. In: **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. p. 76-78, 1997.
28. MARINO, M. T. R. D. et al. Vulnerabilidade física de parte do litoral leste do Ceará à erosão. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 38, p. 253-281, 2016. DOI:10.5914/tropocean.v38i2.5167
29. MENTASCHI, L. et al. Global long-term observations of coastal erosion and accretion. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 12876, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-30904-w
30. PANTUSA, D. et al. Application of a coastal vulnerability index. A case study along the Apulian Coastline, Italy. **Water**, v. 10, n. 9, p. 1218, 2018. DOI:10.3390/w10091218
31. QUEIROZ, H. A. de A.; GONÇALVES, R. M.; MISHRA, M. Characterizing global satellite-based indicators for coastal vulnerability to erosion management as exemplified by a regional level analysis from Northeast Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 817, p. 152849, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152849
32. RUEDA, A. et al. A global classification of coastal flood hazard climates associated with large-scale oceanographic forcing. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017. DOI:10.1038/s41598-017-05090-w
33. SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Boletim de atividades características do turismo da Bahia**, Salvador, v. 4, 2022. Disponível em: < [http://www.observatorio.turismo.ba.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/bactba\\_2022.pdf](http://www.observatorio.turismo.ba.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/bactba_2022.pdf) >. Acesso em: 20/04/2024.
34. SAATY, R. W. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. **Mathematical modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. DOI: 10.1016/0270-0255(87)90473-8
35. SERAFIM, M. B.; BONETTI, J. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, n. 2, p. 36-54, 2017. DOI:10.5380/abequa.v8i2.47281
36. SILVA, I. R. et al. Potencial de danos econômicos face à erosão costeira, relativo às Praias da Costa do Descobrimento–Litoral Sul do estado da Bahia. **Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 1, p. 35-44, 2007. DOI: 10.22456/1807-9806.19461
37. SILVA, I. R. Subsídios para a gestão ambiental das praias da Costa do Descobrimento, litoral Sul do estado da Bahia, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 8, n. 2, p. 47-60, 2008. DOI:10.5894/rgci135
38. SIEGLE, E.; COSTA, M. B. Nearshore wave power increase of reef-shaped costal due to sea-level rise. **Earth's Future**, v. 5, n. 10, p. 1054-1065, 2017. DOI:10.1002/2017EF000624
39. SILVA, I.R. Ambientes Costeiros. In: Silva, A.J.C.L.P. *et al* (Orgs). **Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Beca-BALL Ed, p.212-223, 2008.
40. SOUSA, P.H.G.O.; SIEGLE, E.T.M.G.; TESSLER, M.G. Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). **Ocean & Coastal Management**, v. 77, p. 24-30, 2013.
41. SUMMERS, A. et al. Failure to protect beaches under slowly rising sea level. **Climatic Change**, v. 151, n. 1, p. 427-443, 2018. DOI: 10.1007/s10584-018-2327-7
42. ZANETTI, V. B.; SOUSA JR, W. C de; FREITAS, D. M de. A climate change vulnerability index and case study in a Brazilian coastal city. **Sustainability**, v. 8, n. 8, p. 811, 2016. DOI:10.3390/su8080811



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.