

## DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA EM PRAIAS ARENOSAS AO SUL DE ALAGOAS – BRASIL: SUBSÍDIO PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO EM ZONAS COSTEIRAS

Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida<sup>1</sup>, Djane Fonseca da Silva<sup>2</sup>, Ramon Salgueiro Cruz<sup>3</sup>, Arthur Costa Falcão Tavares<sup>4</sup>

**RESUMO:** É urgente a necessidade de se ampliar o conhecimento sobre o meio físico a fim de se estabelecer diretrizes racionais para utilização de áreas costeiras, visto as previsões de elevação do nível do mar inferidas pelo Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) até o ano de 2100. A presente pesquisa objetivou determinar o nível de vulnerabilidade ambiental do litoral norte do município de Barra de São Miguel/AL, face à elevação do Nível Relativo do Mar, bem como sugerir Limites Terrestres Não Edificantes (LTNE), para a proteção da paisagem e amortecimento da energia das ondas. Os procedimentos metodológicos consistiram em inferir a retrogradação costeira através da Regra de Brunn; estabelecer o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) através da análise de variáveis ambientais; e delimitar o LTNE considerando diretrizes protetivas. Com relação aos resultados obtidos, a retrogradação, mesmo em um cenário otimista e apesar de apresentar alto nível de conservação ambiental, apresentou recuo de 9,12 m. O LTNE demonstrou que o limite prévio de 200 m pode ser adotado futuramente como um valor referência para absorver os impactos futuros gerados pela elevação marinha. Quanto ao IVC, a região foi classificada como altamente vulnerável a ação dos processos erosivos, seja pela remoção dos sedimentos, seja pela retrogradação da costa. Desta forma, foi possível concluir que os resultados obtidos são importantes para compreensão do ambiente costeiro do município de Barra de São Miguel/AL, podendo ser utilizado como fonte norteadora no monitoramento e gerenciamento de regiões costeiras de Alagoas.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade costeira; Gerenciamento costeiro; Erosão Costeira.

**ABSTRACT:** *There is an urgent need to expand knowledge about the physical environment in order to establish rational guidelines for the use of coastal areas, given the predictions of sea level rise inferred by the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) by the year 2100. The present research aimed to determine the level of environmental vulnerability of the northern coast of the municipality of Barra de São Miguel / AL, in view of the elevation of the Relative Sea Level, as well as to suggest Non-Edifying Terrestrial Limits (LTNE), for the protection of the landscape and damping of wave energy. The methodological procedures consisted of inferring coastal retrogradation through the Brunn Rule; establish the Coastal Vulnerability Index (CVI) through the analysis of environmental variables; and delimit the LTNE considering protective guidelines. Regarding the results obtained, the retrogradation, even in an optimistic scenario and despite presenting a high level of environmental conservation, showed a decrease of 9,12 m. The LTNE demonstrated that the previous limit of 200 m can be adopted in the future as a reference value to absorb the future impacts generated by the marine elevation. As for the CVI, the region was classified as highly vulnerable to the action of erosion processes, either by removing sediments or by retrograding the coast. Thus, it was possible to conclude that the results obtained are important for understanding the coastal environment of the municipality of Barra de São Miguel / AL, and can be used as a guiding source in the monitoring and management of coastal regions of Alagoas.*

**Keywords:** Coastal vulnerability; Coastal management; Coastal erosion.

---

@ Autor correspondente: [henrique.ravi@gmail.com](mailto:henrique.ravi@gmail.com)

1 Universidade Federal de Alagoas.

2 Universidade Federal de Alagoas. Email: [djane.silva@icat.ufal.br](mailto:djane.silva@icat.ufal.br)

3 Universidade Federal de Alagoas. Email: [ramonsalgueiro@gmail.com](mailto:ramonsalgueiro@gmail.com)

4 Universidade Federal de Alagoas. Email: [acftavar@gmail.com](mailto:acftavar@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira brasileira corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis e não renováveis, abrangendo uma faixa marítima de 12 milhas náuticas de largura (mar territorial) e uma faixa terrestre de 50 km de largura (Brasil, 1988) e integra o patrimônio nacional, de acordo com a Constituição Federal de 1988.

Como forma de contribuir com a gestão das zonas costeiras e lidar, por exemplo, com os impactos da ocupação urbana e demais atividades antrópicas, alguns importantes instrumentos legais foram estabelecidos, os quais vêm exigindo ações preventivas em face da possibilidade de esgotamento dos recursos nesses ambientes tão sensíveis de imensurável importância (Cavalcante, 2018).

O marco balizador para o Gerenciamento Costeiro no âmbito do território nacional foi instituído através do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC (Lei nº 7.661 de 1988). Em 1997 o PNGC passou por uma revisão e a Resolução CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) nº 5, de 3 de dezembro de 1997, aprovou o PNGC II, em vigor até os dias atuais (MMA, 2013). Segundo Cavalcante (2018), essa revisão foi necessária para trazer modificações no sentido de integrar todas as instâncias governamentais na estruturação e execução do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, pois até então, a primeira versão do Plano restringia o campo de atuação da União e dos municípios e deixava grande parte das ações a cargo dos Estados.

Os últimos instrumentos legais foram a publicação do Decreto Federal nº 5.300/04 (Brasil, 2004), que dispõe sobre as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima; seguido pelo Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada (MMA, 2006). Cabe destacar a proposta metodológica de Scherer (2013), a qual aborda a Gestão de Praias no Brasil.

O planejamento de um espaço tão disputado para as atividades econômicas e para a instalação de cidades, com valores ambientais tão importantes, enfrenta naturalmente uma situação de conflito. Talvez a zona costeira seja uma das regiões brasileiras em que o princípio do desenvolvimento sustentável encontre maiores dificuldades em ser aplicado (Granziera, 2009).

Para preservar esses espaços ambientalmente protegidos, em virtude de sua importância e fragilidade, é comum a avaliação de um território por meio de seu zoneamento, apontado por

Silva e Santos (2004) como a “identificação e a delimitação de unidades ambientais em um determinado espaço físico segundo suas vocações e fragilidades, acertos e conflitos”.

No entanto, é consenso que os zoneamentos são executados sob critérios meramente qualitativos, a partir de modelos estruturados de forma subjetiva, havendo uma demanda de propostas metodológicas que identifiquem zonas a partir da seleção de atributos ambientais mapeáveis (Assis, 2007).

Autores como Bruun (1962), Schwartz (1967), Dean (1991), Pilkey (1993), Manso *et al.* (1995), Gruber (2002), Manso (2012) e Almeida (2018) reconhecem a importância que a interação entre a plataforma rasa e o ambiente praias representa para o conhecimento e gerenciamento de ambientes costeiros.

Para Oliveira (2009), é possível estabelecer-se um equilíbrio entre a análise morfodinâmica dos processos e das formas, de modo que qualquer alteração no sistema em sequência será refletida no sistema morfológico, através do reajuste das variáveis na busca de um novo equilíbrio, estabelecendo-se uma nova forma. Por outro lado, as alterações ocorridas nas formas podem alterar a maneira pela qual o processo se realiza, produzindo modificações na qualidade dos inputs fornecidos ao sistema morfológico.

Dentre as variáveis modificadoras do sistema morfológico, está a previsão de uma elevação do nível do mar, a qual deve ser considerada no prognóstico de variação da linha de costa em decorrência dos processos erosivos que se intensificaram com o incremento do descongelamento de geleiras e a tendência histórica de elevação da temperatura climática (Muehe, 2004).

O IPCC estimou um cenário pessimista para as regiões litorâneas em função de um aumento do nível do mar, que indica uma elevação acima de 1 m até o ano 2100. De acordo com esta previsão, faixas de absorção de impacto devem ser estabelecidas no sentido de auxiliar o gerenciamento costeiro, mesmo sabendo que este cenário possa não se concretizar, por se tratar de uma estimativa (IPCC, 2019).

Outro aspecto importante e bastante sensível às alterações climáticas nas áreas costeiras é o balanço hídrico (Cavalcante, 2018). As mudanças no regime pluviométrico ocasionam impactos ao ambiente costeiro, tais como a erosão de encostas, o assoreamento de rios e inundações. Além disso, reduções no regime pluviométrico e a consequente diminuição da vazão dos rios podem ocasionar a diminuição do aporte sedimentar na zona costeira, ocasionando desequilíbrio no balanço sedimentar, bem como a salinização dos estuários (Neves e Muehe, 2008).

Ainda, segundo os autores citados, alguns fatores podem estar relacionados aos rápidos processos erosivos, tais como, a ocupação territorial desordenada, exploração de jazidas de areia nos estuários e construção de obras de proteção costeira sem critérios técnicos de engenharia.

Dentro desse contexto, visto a necessidade de ampliar o conhecimento do meio físico para se estabelecer diretrizes racionais de utilização de áreas costeiras frente a exposição às mudanças do clima, e consequente elevação do nível do mar, o presente trabalho objetivou identificar os impactos erosivos ao longo da Praia do Meio, localizada no litoral norte do município da Barra de São Miguel, Alagoas (Nordeste do Brasil).

O trabalho encontra-se estruturado em três pontos principais: (i) definição dos níveis de retrogradação litorânea (zonas de risco erosivo); (ii) categorização do grau de vulnerabilidade da costa a erosão marinha; (iii) e indicação de regiões de preservação da paisagem necessárias ao desenvolvimento da resiliência costeira às mudanças climáticas, em área sem urbanização consolidada no município de Barra de São Miguel.

A praia emersa em questão é limitada geralmente por bermas seguidas por dunas arenosas consolidadas e recobertas por vegetação típica de restinga que se prolongam até a pós-praia, como poáceas, gramíneas, salsas de praia, capim de areia, psamófica herbácea alastrante e arbustiva de pequeno porte (Almeida, 2018).

Em alguns trechos, o sistema definido por Duarte (2002) como talude (escarpa praial) e bermas apresenta zonas erosivas frontais resultantes da dinâmica das ondas durante a preamar de sizígia e/ou de tempestade, retornando a se reconstituir entre estes momentos.

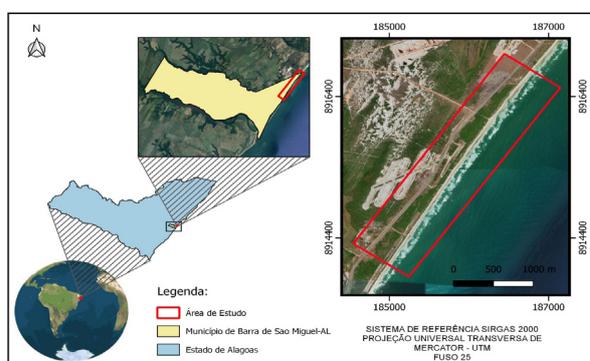


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autor (2020).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O litoral do município da Barra de São Miguel está localizado a aproximadamente 34 km da cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas e integra o litoral da região metropolitana de Maceió. A Praia do Meio (Figura 1), foco deste estudo, possui extensão longitudinal de costa de 3.3 km e está inserida na região norte do município, limitando-se territorialmente com o município de Marechal Deodoro.

#### 2.1.1 Marés

A amplitude das marés (a diferença de nível entre a preamar e a baixamar) é um elemento modelador da linha de costa, em função das velocidades de correntes a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas no transporte sedimentar costeiro especialmente onde a variação da maré é expressiva (Tessler e Goya, 2011).

As marés para o litoral do Estado de Alagoas são monitoradas através de uma única estação maregráfica. A DHN realiza o monitoramento das marés para a região a partir da estação maregráfica localizada no Porto de Maceió. As marés apresentaram amplitude e período que as enquadram no regime de micro e mesomare semidiurna. Este tipo de maré caracteriza-se por apresentar duas preamares e duas baixamares no período de um dia lunar (24 horas e 50 minutos), o que, segundo Araújo *et al.* (2006), ocasiona no litoral de Alagoas a ruptura dos cordões litorâneos no período chuvoso, devido à grande descarga fluvial.

A amplitude média durante as marés de sizígia é da ordem de 2.4 m e 0.9 m durante a de quadratura (Santos, 2004).

#### 2.1.2 Ventos

A circulação atmosférica é um aspecto importante para a compreensão da circulação das águas costeiras e dispersão de sedimentos, tendo em vista ser o vento, o principal elemento gerador de correntes e ondas, além de ser o responsável pelo transporte horizontal de calor latente e calor sensível, e sua convergência, nos baixos níveis, produz movimentos ascendentes e chuva sobre uma região. O vento é resultante de variações de gradientes horizontais de pressão atmosférica (temperatura) que são produzidos nas várias escalas espaciais (Bernardo e Molion, 2000).

Ao tratar da direção, frequência e velocidade dos ventos, verificou-se que os sentidos mais observados no outono e

inverno foram os de ESE (Este-Sudeste) (112,5°), enquanto que durante a primavera e verão prevaleceram os ventos de E (Este) (90°) (Almeida, 2018).

### 2.1.3 Sistemas de Correntes

Estando a área de estudo submetida a um sistema de mesomaré, Miguens (1995) afirma que é natural que as correntes de marés exerçam uma substancial influência na modelagem costeira da região, sobretudo quando associadas a períodos de ventos mais intensos e maré de sizígia, sendo esta última, caracterizada por apresentar as maiores preamares e menores baixa-mares, resultantes das forças de atração da Lua e do Sol, podendo propiciar a geração de ondas com alturas maiores que as convencionais.

Além disto, as correntes superficiais são paralelas às praias em 64% do tempo; são divergentes, isto é, afastam-se das mesmas em 31% do tempo e convergem às praias em apenas 5% do tempo. O sentido da corrente de deriva na área é preferencialmente de Norte para Sul (Santos, 2004).

### 2.1.4 Clima de Ondas

A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e de médio prazo é o clima de ondas, responsável pelo transporte de areia nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa. É a energia das ondas, a intensidade e a recorrência das tempestades que comandam a dinâmica dos processos de erosão e acúmulo de areia na interface entre continente e oceano (Muehe, 1998).

Para a determinação do clima das ondas atuantes na área de estudo, esta pesquisa baseou-se na coleta temporal dos parâmetros hidrodinâmicos (direção, período, comprimento e altura das ondas) obtidos por Almeida (2018) para o período de 2016 a 2017, levando em consideração a teoria de onda linear proposta por Airy (1845), ou seja, as amplitudes dos parâmetros ondulatórios são influenciadas à medida que as velocidades e acelerações das ondas sofrem um decaimento exponencial com a profundidade, tendendo a valores nulos em profundidades maiores do que metade do comprimento de onda.

Na Tabela 1 estão citados os resultados dos parâmetros ondulatórios médios significativos de altura (H), período (T) e comprimento (L), além da direção média anual das ondas (Do) representativas para cada estação climática.

O resultado da média da altura significativa (H) mostra uma variação de 1.42 m no verão à 2.37 m no inverno. Em relação ao período significativo das ondas (T), o valor mais expressivo

foi observado durante a estação do outono (14.24 s), decaindo até atingir a menor amplitude no verão (8.64 s).

Tabela 1. Resultados significativos dos parâmetros ondulatórios por estação climática entre os anos de 2016 e 2017.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO
H (m)	1.77	2.37	1.87	1.42
(s)	14.24	11.75	10.90	8.64
L (m)	22.21	18.33	17.00	13.48
Do (°)	127.55	135.00	112.5	115.06

## 2.3 Materiais e Métodos

Para compreensão dos impactos gerados pela translação do perfil praial em direção ao continente (Retrogradação); a determinação da vulnerabilidade costeira; e o estabelecimento de áreas de proteção, foram utilizados dados ambientais levantados durante os anos de 2016 e 2017 por Almeida (2018) ao longo do litoral do município da Barra de São Miguel-AL, com observações distribuídas entre as quatro estações climáticas anuais.

### 2.3.1 Retrogradação Litorânea

O estabelecimento da retrogradação litorânea (zona de risco erosivo) está relacionado à quantificação do recuo da linha de costa, associada ao prognóstico de elevação do nível médio do mar, estimada pelo IPCC (2019) em cerca de 0.29 m ( $S_1$ ) a 1.10 m ( $S_2$ ) até o ano de 2100, como também, de seus agentes modeladores, tais como os ventos, ondas, composição granulométrica e correntes oceânicas.

Os Recuos ( $R_1$  e  $R_2$ ) ao longo do litoral da área de estudo foram determinados através da equação proposta pela Regra de Bruun (1962), idealizada para praias arenosas (Equação 1).

$$R = \frac{SLG}{H} \quad (1)$$

Ao avaliar os resultados obtidos através da aplicação da Regra de Bruun por diferentes autores, Rosati *et al.* (2013) concluiu que a Regra de Bruun apresenta limitações ao assumir que toda a areia removida do perfil superior é depositado no mar com o aumento do nível do mar. No entanto, ao propor uma nova metodologia, o autor concluiu não ser de fácil determinação o quantitativo do transporte de sedimentos para o ambiente terrestre, recomendando que se desenvolvam um entendimento

melhorado de transporte para o ambiente terrestre, de maneira a viabilizar a aplicação de novos métodos.

A pesar das limitações citadas, trabalhos como os desenvolvidos por Junior (2014), Mallmann (2016), Almeida (2018), Atkinson (2018) e Lima (2021) evidenciam que a Regra de Bruun pode ser aplicável em diferentes ambientes, visto a ausência de dados quantitativos relacionados ao transporte terrestre.

Na Equação 1,  $R$  é o recuo da linha de costa devido à elevação do nível do mar (m);  $S$  é a previsão de elevação do nível do mar (m) prevista pelo IPCC (2019) para o intervalo analisado;  $L$  é o comprimento do perfil ativo (m), que compreende a distância entre a elevação máxima do perfil ativo e a profundidade de fechamento;  $G$ , que representa a proporção de material erodido que se mantém no perfil ativo; e segundo Hallermeier (1981),  $H$  é a altura do perfil ativo (m), determinada pela somatória da altura da feição emersa ativa (topo do cordão litorâneo ou da praia ou duna frontal ( $h$ )), com a profundidade de fechamento ( $d_1$ ) calculada do perfil, conforme Equação 2:

$$H = h + 1,75 \times d_1 \quad (2)$$

A Figura 2 demonstra que a translação de um perfil de praia por uma distância “ $s$ ” devido a um aumento do NRM “ $a$ ”, causaria a retrogradação da costa e a deposição de sedimentos ao longo do perfil da plataforma equivalente em espessura ao aumento do NRM “ $a$ ” para obtenção de novo equilíbrio do perfil.

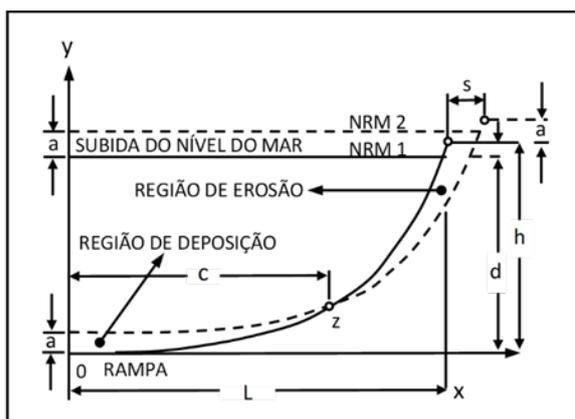


Figura 2. Perfil de Equilíbrio Praia: Regra de Bruun - translação da praia “ $s$ ” imposta por um aumento do NRM “ $a$ ”, resultando em deposição de sedimento ao longo do perfil com espessura “ $a$ ” para atingir novo equilíbrio. Onde “ $d$ ” é a profundidade do momento NRM 1 e “ $L$ ” a distância do perfil à praia. Fonte: Adaptado de Bruun (1954).

De acordo com Nicholls *et al.* (1995), o resultado da Equação 2 representa o somatório da altura da feição emersa ativa ( $h$ )

(representada pelo topo do cordão litorâneo ou da praia ou duna frontal), com a profundidade de fechamento do perfil para um período de 100 anos ( $d_{1,100}$ ) (Equação 3).

$$d_{1,100} = 1,75 \times d_1 \quad (3)$$

O valor de  $d_1$  foi obtido através das equações de Hallermeier (1981) (Equação 4). O mesmo é caracterizado a partir das condições de altura de ondas significativas extremas na zona litorânea, e determina o limite da profundidade do perfil onde ainda ocorre um intenso transporte de sedimentos e mudanças extremas da morfologia do fundo.

$$d_1 = 2H_s + 11\sigma \quad (4)$$

Em que “ $H_s$ ” representa a altura média significativa anual das ondas em metros; e “ $\sigma$ ”, o desvio padrão anual das ondas significativas.

No intuito de obter um diagnóstico do comportamento temporal da profundidade de fechamento ( $d_1$ ), os cálculos foram realizados considerando os dados obtidos para cada estação meteorológica e os compilados para o período anual.

Assim, a determinação da retrogradação litorânea ( $R$ ), através da utilização dos limites definidos pela profundidade de fechamento ( $d_1$ ) permitiu inferir regiões da faixa costeira propícias ao risco de erosão costeira, determinada pela linha de retrogradação prognosticada em função do efeito de elevação do nível do mar.

Para determinar a posição atual da linha de preamar máxima atinente ao ano de 2020, foram considerados como indicadores ambientais as feições morfológicas adotadas por Almeida (2008), Junior (2014) e Almeida (2018), ou seja, bermas, linha de vegetação e cúspides praias.

A posição atual da linha de preamar máxima, bem como o deslocamento da mesma frente ao prognóstico inferido pelo IPCC (2019), foram determinados através da fotointerpretação das feições morfológicas e respectiva vetorização posicional, utilizando como base cartográfica um ortofotomosaico obtido através de aerolevantamento executado durante a segunda maré de sizígia do mês de julho de 2020.

### 2.3.2 Mapeamento Aerofotogramétrico

Para a captura das imagens aéreas, utilizou-se a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) da marca *Phantom 4 advanced* (Figura 3); para processamento das imagens, o *software* Agisoft

Metashape; e para vetorização das feições morfológicas e elaboração do mapa de retrogradação, o software QGIS 3.4.3.



Figura 3. Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) utilizada para captura das imagens aéreas da área de estudo.

Com o objetivo de elevar a acurácia posicional do mapeamento aéreo, visto que o receptor GPS (*Global Positioning System*) embarcado na aeronave possui precisão posicional de 5 a 10 m, foram distribuídos três Pontos Artificiais de Apoio Aerofotogramétricos (PAAA) ao longo do litoral estudado, denominados PC1, PC2 e PC3 (Figuras 4).

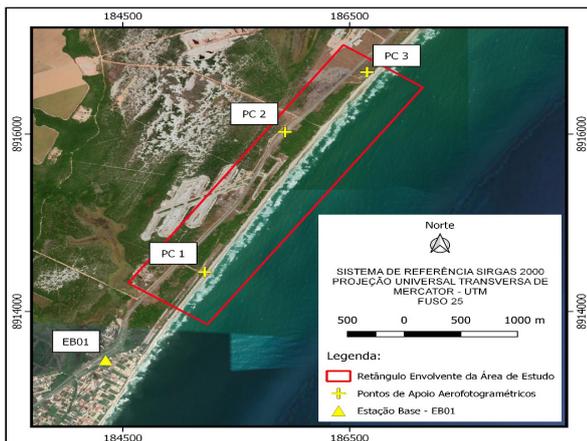


Figura 4. Mapa de distribuição espacial dos pontos de apoio aerofotogramétricos na área de estudo. Fonte: Autor (2020).

As coordenadas geodésicas dos PAAA foram obtidas através da adoção da Técnica de Posicionamento Relativo Estático Pós-Processado.

Para tanto, utilizou-se um par de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), Modelo GTR-G2 (Figura 5).

A estação geodésica EB01, foi implantada às margens da Rodovia AL 101 Sul, Município da Barra de São Miguel, sendo utilizada, tanto como Estação Base para o levantamento posicional dos PAAA, como para o pós-processamento das coordenadas geodésicas através do *software* GTR Processor, versão 2.94. A Tabela 2 apresenta as coordenadas planas UTM ajustadas, inseridas no Fuso 25.

### 2.3.3 Índice de Vulnerabilidade Costeira

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) (Nascimento e Dominguez, 2009; Menezes *et al*, 2018; Oliveira, 2017; Figueiras e Albino, 2020), descreve a vulnerabilidade a uma mudança física do ambiente, frente ao aumento do nível médio do mar (Germani *et al.*, 2015).

Por sua vez, o conceito de vulnerabilidade litorânea pode ser definido como sendo o estado de fragilidade natural de determinada costa à eventos erosivos de curta ou longa escala temporal (Lins-De-Barros, 2005b). Na literatura específica sobre erosão e inundação costeiras este conceito é geralmente associado à capacidade ou incapacidade de lidar com as mudanças climáticas ou subida do nível do mar (Lins-De-Barros, 2010).

Os efeitos de diferentes tipos de feições costeiras a uma elevação do nível marinho dependem das características geomorfológicas e litológicas da região, em que segundo Gornitz (1991), podem variar desde baixos até muito altos índices de vulnerabilidade, o que requer uma análise específica da compartimentação litorânea. A Tabela 3 indica as cinco variáveis ambientais e seus valores, utilizadas para inferir o IVC na área de estudo, segundo proposto por Gornitz (1991) e Germani *et al.* (2015).

Para categorizar o IVC à erosão marinha, aplicou-se a Equação 5 estabelecida por Gornitz (1991) para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade para a Costa Atlântica. Ainda, segundo o autor, os valores abaixo de 8.7 representam baixa vulnerabilidade; entre 8.7 e 15.6: Moderada; entre 15.6 e 20: Alta; e acima de 20: Muito alta.

$$IVC = \sqrt{\frac{(A * B * C * D * E)}{5}} \quad (5)$$

Na Equação 5, as variáveis *A*, *B*, *C*, *D* e *E*, representam, respectivamente: Taxa de erosão/acresção (m/a); Geomorfologia; Declividade da costa (%); Mudanças relativas

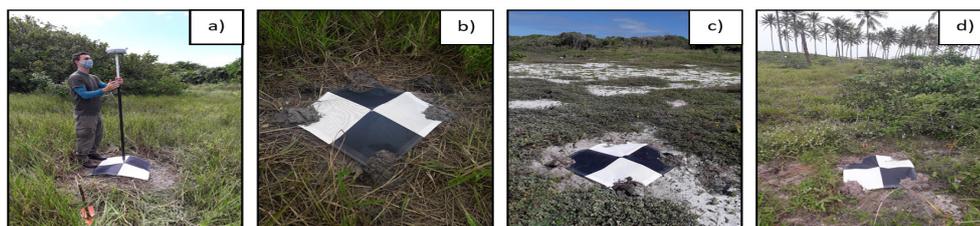


Figura 5. a) Levantamento posicional GNSS da Estação Base - EB01; Materialização dos Pontos Artificiais de Apoio Aerofotogramétricos: b) PC1, c) PC2 e d) PC3.

Tabela 2. Coordenadas Planas UTM ajustadas dos PAAA e suas discrepâncias posicionais planimétrica ( $\sigma_H$ ) e altimétrica ( $\sigma_Z$ ).

Ponto	Descrição	Este (m)	Norte (m)	Altitude Geométrica (m)	$\sigma_H$	$\sigma_Z$
EB01	Estação Base	184503.732	8913597.163	-0.586	0,002	0,003
PC1	PAAA	185169.852	8914415.324	-0.830	0,001	0,005
PC2	PAAA	186032.440	8916074.054	-1.112	0,002	0,001
PC3	PAAA	186598.015	8916758.376	-0.055	0,003	0,002

Tabela 3. Valores das variáveis ambientais para o cálculo do IVC para a Costa Atlântica.

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia	Costa de falésias rochosa; Fiord.	Falésias médias; Costas recortadas	Falésia baixa; Costas de deriva Glacial; Planície Aluvial.	Praias cascalhosas; Estuários, Lagoas.	Praias arenosas; Pântanos salgados; Planos lamosos; Deltas; Mangues; Recifes de coral.
Taxa de erosão/acresção (m/a)	> 2.0 <b>Acresção</b>	1.0 - 2.0 ←	-1.0 - 1.0 <b>Estabilidade</b>	-2.0 - -1.0 →	< - 2.0 <b>Erosão</b>
Declividade da costa (%)	> 1.2	1.2 - 0.9	0.9 - 0.6	0.6 - 0.3	< 0.3
Varição relativa do nível médio do mar (mm/a)	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
Altura significativa da onda (m)	< 0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
Amplitude da maré (m)	> 6.0	4.0 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 2.0	< 1.0

Fonte: Adaptada de Gornitz (1991) e Germani *et al.* (2015).

do nível do mar (mm/ano); Altura significativa de onda (m); e Amplitude de maré (m). Neste trabalho, os valores das variáveis foram determinados por Almeida (2018), e os prognósticos de elevação do nível do mar pelo IPCC (2019).

### 2.3.4 Limite terrestre não edificante

Tido como ação não estrutural por Alfredini (2009), o LTNE caracteriza-se por uma medida que não interfere de forma

física na zona costeira. Normalmente as ações não estruturais atuam no planejamento territorial e gerenciamento de riscos e perigos costeiros. Neste contexto, segundo Alfredini (2009) e Scherer (2013), dentre as várias ações de conservação da zona costeira, está a delimitação de faixas de terreno sem construções (*zona non aedificandi*).

As zonas *non aedificandi* são definidas por Souza (2009a), como

uma região de amortecimento ou proteção (setback distance) da praia, ou seja, uma faixa de terreno da planície costeira, paralela e junto à praia, com determinada largura mínima, no sentido do continente.

Ainda, segundo a mesma autora, a região compreendida por esta zona, deverá ser conservada de qualquer ocupação antrópica e ter restaurada a condição de permeabilidade original do terreno, como por exemplo, a recuperação de dunas frontais e da respectiva vegetação original.

Devido à ausência de legislação local para a determinação do LTNE, este trabalho levou em consideração: às diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Brasil, 1988); a proposta definida por Muehe (2001), que define critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento; o Decreto Federal nº 5.300/04 (Brasil, 2004), que dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima; Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada (MMA, 2006); e a proposta de Gestão de Praias no Brasil (Scherer, 2013; Marchese, 2019).

Na sequência, foi possível estabelecer uma faixa mínima de proteção e de manutenção da estética da paisagem, conforme critérios descritos na Figura 6.

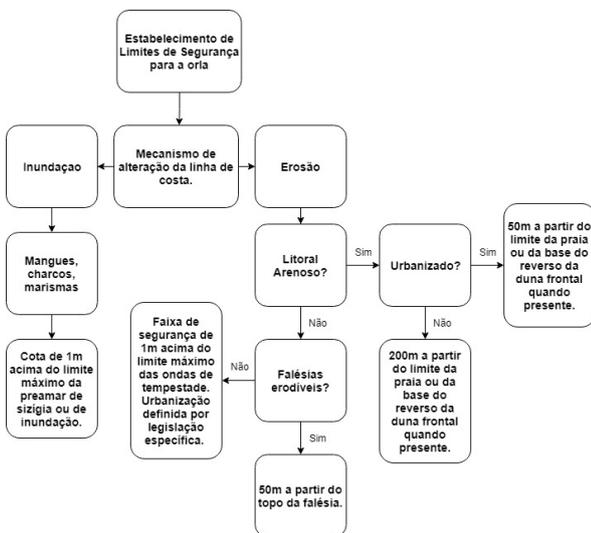


Figura 6. Determinação do LTNE segundo as características morfológicas do litoral. Fonte: Adaptado de Muehe (2001) e MMA (2006).

Neste estudo, a delimitação do LTNE também está condicionada diretamente aos valores inferidos para a Retrogradação e Vulnerabilidade Litorânea, visto que a mesma sempre deverá se sobrepor, em extensão, às regiões sobre risco erosivo.

Muehe (2001) afirma que a diminuição dos limites mínimos poderá ocorrer quando houver tendência progradação da linha de costa, expressa em taxas anuais ou o local se situar em áreas abrigadas, desde que justificado tecnicamente, sem prejuízo da competência estadual ou municipal para estabelecer medidas mais restritivas.

### 3. DISCUSSÃO

#### 3.1. Retrogradação litorânea

Ao utilizar os cenários inferidos pelo IPCC (2019) para a elevação do nível do mar sobre os continentes até o ano 2100 (S1 e S2), em conjunto com as variáveis da fórmula de Bruun (1962) (h, H, L e G), foi possível obter os recuos erosivos (R1 e R2) e as Taxas de Erosão (TX1 e TX2) (Tabela 4).

Após a determinação dos recuos (R1 e R2), os mesmos foram vetorizados sobre o ortofotomosaico do ano de 2020, a partir da translação da posição da linha de preamar atual em direção ao continente.

Ao avaliar a extensão destes recuos, verifica-se que em ambos os cenários de elevação do mar ocorreria a destruição das dunas e dos cordões holocênicos frontais à planície litorânea, impactando as diversas comunidades da fauna e flora costeira (Figura 7).

Tabela 4. Valores médios em metros para as variáveis da fórmula de Bruun (1962) e Hallermeier (1981).

h	H	L	G	S1	R1	TX1	S2	R2	TX2
2.76	10.24	322.14	1	0.29	9.12	-0.11	1.10	34.60	-0.42

Com relação a transgressão marinha e a migração temporal da compartimentação praial continente a dentro, as projeções das linhas de costa (R1 e R2) indicaram que poderá haver perda sedimentar equivalente a 0.029 km<sup>2</sup> e 0.11 km<sup>2</sup>.

Desta forma, visto os impactos projetados, torna-se necessária a definição de estratégias de adaptação da costa, tais como a preservação e ou reconstrução das características naturais do ambiente, e mais ainda, um melhor planejamento da ocupação em zonas costeiras vulneráveis aos impactos diretos das mudanças climáticas globais.

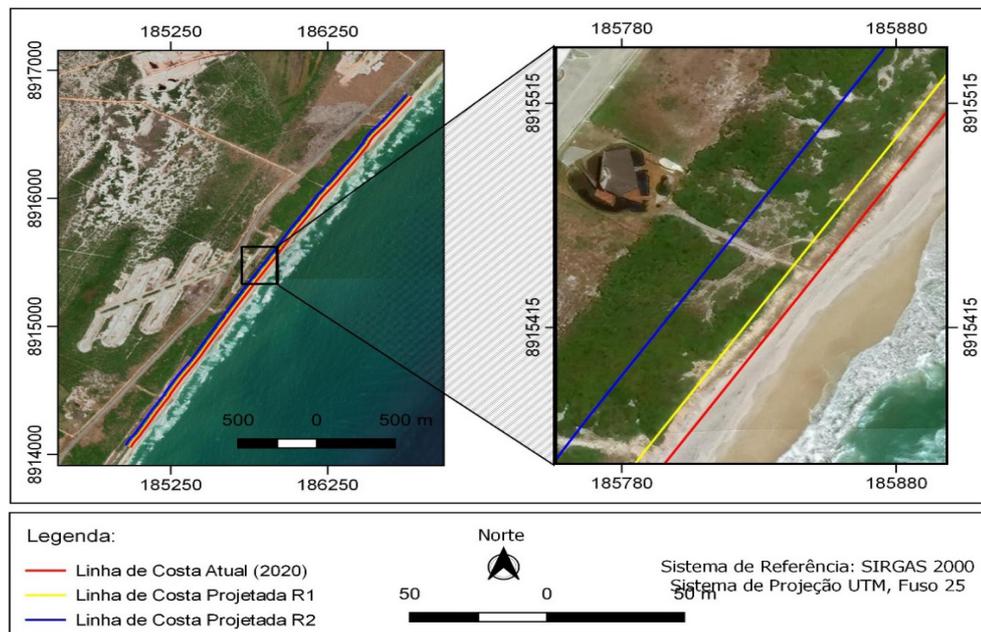


Figura 7. Mapa de retrogradação para o litoral da área de estudo com detalhe em maior escala das projeções erosivas R1 e R2 previstas para o ano de 2100 e da posição atual da linha de costa (ano 2020).

### 3.2. Índice de Vulnerabilidade Costeira

De maneira a determinar a vulnerabilidade da área estudada à elevação do nível do mar até o ano de 2100 (IPCC, 2019), foram utilizados os valores inferidos por Almeida (2018), relativos a cada uma das variáveis físicas e geológicas atinentes à região.

Através da Equação 5, foi obtido o valor para o IVC de 17,67, classificando a Praia do Meio como altamente vulneráveis à processos erosivos, frente a uma elevação do nível do mar de 0.29 m, conforme Tabela 5.

No entanto, ao relacionar a preservação da compartimentação praial, com obras de contenção e nível de ocupação antrópica ao longo da área de estudo, Almeida (2018) caracterizou a vulnerabilidade da região através da classificação sugerida por Dal Cin e Simeoni (1994) e Nicholls *et al.* (1995) como de vulnerabilidade baixa aos impactos gerados pela elevação do nível do mar sobre edificações e equipamentos públicos localizados sobre a costa.

Para tanto, Almeida (2018) identificou que o litoral está bem preservado e sem ocupação antrópica nas regiões da antepraia, praia e pós-praia, possuindo portanto, condições ambientais para absorver os impactos da ação erosiva, reestabelecer uma nova linha de costa e o reequilíbrio sedimentar.

Portanto, frente a elevação do nível do mar, o litoral da região

pode ser classificado como de baixa vulnerabilidade à impactos físicos sobre edificações e equipamentos públicos; como altamente vulnerável a ação dos processos erosivos, seja pela remoção dos sedimentos, seja pela retrogradação da costa.

### 3.3. Limite Terrestre Não Edificante

Após a construção do ortofotomosaico da área de estudo para o ano de 2020, seguida pela fotointerpretação e a vetorização posicional da linha de costa atual, foi possível identificar a ocorrência de alterações antrópicas pontuais na região da pós-praia.

O impacto ambiental foi identificado como implantação de loteamento residencial em área de proteção ambiental, segundo o que preconiza Brasil (1988), Muehe (2001), Brasil (2004), MMA (2006) e Scherer (2013).

Além disto, a análise fotointerpretativa do ortofotomosaico da região costeira indicou que as atividades de preparação do solo ocasionaram impactos relacionados à remoção da vegetação de restinga, remobilização sedimentar e alterações na fauna da região.

Desta forma, através do estabelecimento das regiões de proteção da paisagem, foi possível inferir que as alterações antrópicas recentes na região não obedecem ao LTNE de 200 m de extensão, delimitadas a partir da fronteira da praia ou da

Tabela 5. Valores dos parâmetros físicos e geológicos para classificação do IVC ao aumento do nível do mar até o ano de 2100 para a região de estudo, com base nos cenários otimistas do IPCC (2019).

Variáveis	Parâmetros Locais	Vulnerabilidade
Taxa de erosão (m/a) entre os anos de 2019 a 2100	- 0.11	Moderada
Geomorfologia	Praia arenosa	Muito alta
Declividade da costa (%)	7.89	Muito Baixa
Varição relativa do nível médio do mar (mm/ano) entre os anos de 2019 e 2100	3.58	Muito Alta
Altura significativa da onda (m)	1.42 - 2.37	Muito Alta
Amplitude da maré (m)	1.5	Muito Alta

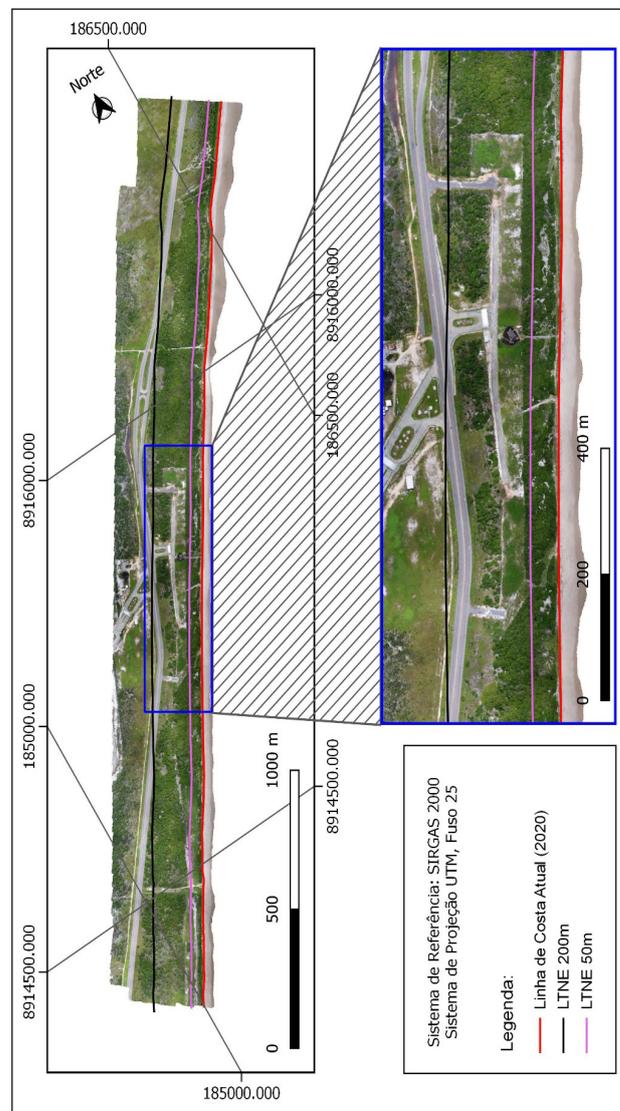


Figura 8. Representação da área de estudo e detalhe em escala de ampliação da representação dos LTNE de 200 m e 50 m, visto às projeções erosivas R1 e R2 previstas para os anos de 2100, relacionadas à posição atual da linha de costa (ano 2020).

Tabela 6. Projeção da Retrogradação (R1), LTNE e IVC.

Recuo da Linha de Costa (R <sub>1</sub> )		LTNE		<sup>1</sup> Índice de Impacto (%)	<sup>2</sup> IVC
Extensão (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Extensão (m)	Área (m <sup>2</sup> )		
9.12	29 971.13	200	657 261.80	4.55	5

<sup>1</sup>Valor representativo do nível de impacto, em porcentagem, sobre a área delimitada pelo LTNE, levando em consideração a retrogradação estabelecida pelo cenário otimista do RLC; <sup>2</sup>Índice de Vulnerabilidade Costeira: 1 - Muito Baixa, 2 - Baixa, 3 - Moderada, 4 - Alta, e 5 - Muito Alta.

base do reverso da duna frontal, quando existente, em direção ao continente (Figura 8).

Neste sentido, ao analisar o detalhe em escala de ampliação da Figura 8, constatasse que a delimitação das áreas de proteção da paisagem (não-edificantes) adotadas recentemente pelos empreendimentos ao longo da região, não seguem às recomendações do MMA (2006), visto que utilizam de forma contraditória, dimensões para exploração imobiliária, atinentes a regiões com urbanização já consolidadas.

Ao considerar os cenários de elevação do nível do mar (S1 e S2), estimados como mais prováveis e mais pessimistas, e a intensidade das retrogradações R1 e R2, verifica-se que apenas no segundo cenário haveriam impactos sobre as edificações.

No entanto, ao considerar os prognósticos de elevação do nível do mar até o ano de 2100 e a extensão do recuo R1 em relação à localização do empreendimento imobiliário denominado “Saint Michel Premium”, foi possível constatar que o mesmo estaria a aproximadamente 18 m da região a ser erodida, estando por sua vez, vulnerável a eventos entremos e a sazonalidade sedimentar do perfil praiar.

Considerando os recuos otimistas (R1) determinados pela Lei de Brunni; a resposta de diferentes tipos de feições costeiras a uma elevação do nível do mar; e a determinação do LTNE, foi possível estabelecer uma síntese da retrogradação para a região, observadas na Tabela 6.

#### 4. CONCLUSÕES

O litoral do Município de Barra de São Miguel/AL, possui características geomorfológicas quaternárias herdadas das transgressões e regressões marinhas, onde através das quais é possível inferir sobre a evolução costeira da região, e que de maneira geral, permite deduzir que a região apresenta vulnerabilidade em relação às perspectivas de novas elevações do nível do mar.

Considerando o prognóstico de retrogradação da linha de costa, com base nos cenários previstos pelo IPCC (2019) para a elevação do nível do mar frente às mudanças climáticas, a região, mesmo que no cenário otimista, irá apresentar algum percentual de regiões erodidas.

Quanto a categorização do grau de vulnerabilidade da costa à erosão marinha, conclui-se que a mesma é classificada como altamente vulnerável a subida do nível do mar, através da ação da erosão marinha e consequente recuo da linha de costa.

A determinação do LTNE, ou seja, uma faixa mínima de proteção e de manutenção da estética da paisagem, estabelecida a partir das distâncias entre a linha de preamar atual em direção ao continente, demonstrou que a adoção prévia dos resultados do LTNE seria suficiente para absorver os impactos futuros gerados pela elevação do nível do mar.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se que a diminuição do LTNE além do mínimo sugerido de 200 m, não deve ser adotada para a região, visto que o litoral não se situa em área abrigada da ação das ondas, como também, pelo fato de não existirem estudos temporais que indiquem tendência à progradação da linha de costa, de maneira a embasar tecnicamente medidas menos restritivas.

Nesse sentido, um aspecto fundamental para a fixação do LTNE para além do cenário otimista de retrogradação, é a determinação da tendência evolutiva do litoral, tanto numa escala de tempo geológico (centenas a milhares de anos), como na escala de tempo do processo atual (anos e décadas).

Quanto a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a determinação posicional da linha de costa, a mesma demonstrou ser uma ferramenta eficiente de mapeamento, possibilitando a confecção de base cartográfica com acurácia decimétrica, das quais é possível extrair informações tanto temáticas, quanto métricas.

Desta forma, é válido afirmar que a metodologia adotada e os resultados obtidos neste trabalho foram importantes

para compreensão do ambiente costeiro do Município de Barra de São Miguel, podendo também ser utilizado como fonte norteadora no monitoramento e gerenciamento do uso e ocupação do solo ao longo de outras regiões litorâneas do Estado de Alagoas.

Assim, recomenda-se que as observações litorâneas sejam ampliadas através de estudos complementares na ordem de anos e décadas, de maneira a obter parâmetros morfodinâmicos espaço/temporais, auxiliando assim, na determinação das tendências evolutivas do município.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos revisores deste artigo; e ao Grupo de Estudos Integrados ao Gerenciamento Costeiro (GEIGERCO/CNPq) da UFAL pela contribuição no processo de coleta e análise das informações ambientais (ano de 2020).

## REFERÊNCIAS

Airy, G. B. (1845) - On tides and waves. In: Encyclopaedia Metropolitana, Londres: 1845. (Volume 5). Sem ISBN. Disponível on-line em <https://books.google.com.br/books?id=41DsaaAAcAAJ&lr&hl=pt-BR&pg=PA237#v=onepage&q&f=false>.

Alfredini, P.; Arasaki, E. (2009) - *Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*. 804p., São Paulo: Blücher, 2° Ed. ISBN: 9788521204862.

Almeida, H. R. R. C. (2018) - *Influência dos processos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos no zoneamento costeiro e na plataforma continental rasa do litoral do município da Barra de São Miguel, Alagoas, Brasil*. 190p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Araújo, T. M.; Santos, R. C. A. L.; Seoane, J. C. S.; Manso, V. A. (2006) - *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro, Alagoas*. In: MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. ISBN: 85-7738-028-9. Disponível on-line em <https://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-eros-ao-e-progradacao>.

Assis, H. M. B. (2007) - *Influência da hidrodinâmica das ondas no zoneamento litorâneo e na faixa costeira emersa, entre Olinda e Porto de Galinhas, Pernambuco*. 140p. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Atkinson, A. L.; Baldock, T. E.; Birrien, F.; Callaghan, D. P.; Nielsen, P.; Beuzen, T.; Turner, I. L.; Blenkinsopp, C. E.; Ranasinghe, R. (2018) - Laboratory investigation of the Bruun Rule and beach response to sea level rise. *Coastal Engineering* 136 183-202. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.03.003>.

Bernardo, S. O.; Molion, L. C. B. (2000) - Variabilidade do vento para a Cidade de Maceió-AL. In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Rio de Janeiro, RJ. Anais do XI CBMET. Rio de Janeiro, RJ: CBMET, 1343-1350. ISBN: Português, Meio digital. Disponível em CD-ROM.

Brasil (1988) - *Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988*. Disponível on-line em <https://www.mma.gov.br/destaques/item/8644-plano-nacional-de-generenciamento-costeiro-pngc>.

Brasil (2004) - *Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004*. Disponível on-line em <http://www.planalto.gov.br>.

Bruun, P. (1954) - Coast erosion and the development of beach profiles. Washington: *Beach Erosion Board, Office of The Chief of Engineers*. Technical Memorandum nº 44. ISBN: Ausente. Disponível on-line em <https://books.google.com.br/books?id=AANKvgAACAAJ&hl=pt-BR&pg=PP7#v=onepage&q&f=false>

Bruun, P. (1962) - Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors division*, [s.i.], v. 88, n. 1, 117-132. ISBN: 0569-8103. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/30084988?seq=1>.

Cavalcante, J. S. I. (2018) - *Áreas costeiras: gestão, problemáticas e percepções ambientais no município de Areia Branca, Rio Grande do Norte, Brasil*. 184p. Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

Coutinho, P.N. (1976) - *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe*. 119p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Dal Cin, R.; Simeoni, U. (1994) - A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 10, n. 01, 18-29, 1994. ISBN: 1551-5036. Disponível on-line em <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/79105>.

Dean, R. G. (1991) - Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of coastal research*, [s.i.], v. 07, n. 01, 53-84. ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/78405/75816>.

Dominguez, J. M. L. (1995) - Regional assessment of short and long term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone*, 8-10, São Paulo, Brasil. ISSN: 1678-2690. Disponível on-line em [https://www.researchgate.net/publication/287742781\\_Regional\\_Assessment\\_of\\_Longerm\\_Trends\\_of\\_Coastal\\_Erosion\\_in\\_Northeastern\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/287742781_Regional_Assessment_of_Longerm_Trends_of_Coastal_Erosion_in_Northeastern_Brazil).

- Duarte, X. R. (2002) - Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes- PE. 141p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Programa de Pós- Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Eckart, C. (1952) - The Propagation of Gravity Waves From Deep to Shallow Water, *Natl.Bur. Standards, Circular 521*, 165-173, Washington, Estados Unidos da América.
- Figueiras, G. D. L.; ALBINO, A. (2020) - Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo. In: *Revista do Departamento de Geografia*, Volume 40 (78-93), ISSN 2236-2878. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.165831.
- Granziera, M. L. M. (2009) - Direito Ambiental. São Paulo: Atlas: (592-624).
- Germani, Y. F.; Figueiredo, S. A.; Calliari, L. J.; Tagliani, C. R. A. (2015) - Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v.15, n.1, 121-131.
- Gornitz, V. (1991) - Global sea level hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89(1): 379-398. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands. Disponível on-line em [http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1991/1991\\_Gornitz\\_1.pdf](http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1991/1991_Gornitz_1.pdf).
- Gruber, N. L. S. (2002) - *A antepraia na região de Tramandaí* - RS. 207p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Hallermeier, R. J. (2019) - A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, v. 4, p. 253-277, 1980-1981. DOI: 10.1016 / 0378-3839 (80) 90022-8.
- IPCC (2019) - *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)*. Disponível on-line em <https://www.ipcc.ch/srocc/home/>.
- Junior, C. F. (2014) - *A. Influência das ondas e das características geomorfológicas no zoneamento territorial costeiro entre Porto de Galinhas e Rio Formoso, litoral sul de Pernambuco-Brasil*. 169p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Mallmann, D. L. B. (2016) - Análise de risco à erosão costeira de curto-termo para o litoral central de Pernambuco. 160p., Tese de Doutorado em Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Manso, V. A. V.; Coutinho, P. N.; Lima, A. T. O.; Medeiros, A. B.; Borba, A. L. S.; Lira, A. R. A.; Pedrosa, F. J. A.; Martins, M. H. A.; Chaves N. S.; Duarte, R. X.; Almeida, L. E. S. B.; Toldo Jr. E. E. e Ivo, P. S. (1995) - *Estudo da erosão marinha na praia da Boa Viagem*. In: CONVÊNIO EMLURB/FADE/LGGM-UFPE. Relatório Final, 106p., Recife, Brasil.
- Manso, V. A. V.; Macedo, R. J. A. ; Silva, E. R. M. E. ; Pereira, N. S. ; Soares Junior, C. F. A. ; Arraes, M. ; Alves, F. P. (2012) - Subsídios ao Gerenciamento Costeiro: Definição da Zona Não Edificante da Praia do Porto (PE) para uso e Ocupação da Orla. In: *ESTUDOS GEOLÓGICOS (UFPE)*, v. 22: (21-36). ISSN 1980-8208. Disponível on-line em <http://www3.ufpe.br/estudosgeologicos/>.
- Marchese, L. (2019) - *Desenvolvimento de um Mecanismo de Gestão para Integrar os Esquemas de Certificações de Praias ao Projeto Orla*. 149p. Tese de Doutorado em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Menezes, A. F.; Pereira, P. S.; Gonçalves, R. M.; Araújo, T. C. M.; Souza, P. H. G. O. (2018) - análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. In: *Geociências*, UNESP, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 455 - 465.
- Miguens, A. P. (1995) - Navegação: a ciência e a arte. Navegação costeira, estimada e em águas restritas. Niterói/RJ: Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Volume 1.
- MMA (2006) - *Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada*. 74p., Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 85-7738-029-7. Disponível on-line em [https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/\\_arquivos/11\\_04122008111238.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008111238.pdf).
- Muehe, D. (1998) - Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia*, São Paulo, v. 46, n. 2: (157-169). DOI: 10.1590 / S1413-773919980 00200005.
- Muehe, D. (2001) - Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 2, n. 1: (35-44), 2001. ISSN: 22365664. Disponível on-line em <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/6/4>.
- Muehe, D. (2004) - Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: *MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPO)*. Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla): subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA, 2004, p. 13-32. Disponível on-line em [https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/\\_arquivos/11\\_041220081 10506.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_041220081 10506.pdf).
- Nascimento, D. M. C; Domingues, J. M. L. (2009) - Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 39(3): 395-408. Disponível on-line em <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/2648/1/11962-59204-1-PB.pdf>.

- Neves, C. F.; Muehe, D. (2008) - Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*, Vol. 13, No 27. ISSN: 2176-9729. Disponível on-line em [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/325](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325).
- Nicholls, R. J.; Leatherman, S. P., Dennis, K. C. E Volonté, C. R. (1995) - Impacts and responses to sea-level rise: qualitative and quantitative assessments. *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 14: (26-43). ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/25735699?seq=1>.
- Oliveira, R. C. (2009) - Ambiente costeiro fragilidades e impactos relacionados a ação antrópica: o cenário da baixada santista no estado de São Paulo/Brasil. In: 12º *Encuentro de geógrafos de América Latina - caminando en una América Latina en transformación*. Montevideo, Uruguai.
- Oliveira, D. Z. (2017) - *Análise de índices de vulnerabilidade física com o uso de geotecnologias na região da barreira do inferno*. 93p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Lima, L. T.; Fernández, S. F.; Gonçalves, J.f.; Filho, L. M.; Bernardes, C. (2021) - Development of Tools for Coastal Management in Google Earth Engine: Uncertainty Bathub Model and Bruun Rule. *Preprints 2021*. DOI: 10.20944/preprints202102.0513.v1).
- Lins-De-Barros, F. M. (2005) - Erosão costeira e gerenciamento: estudo de caso do litoral de Maricá, Rio de Janeiro. In: *Seminário Maricá Dinâmica Urbana e Ambiental*, 1, Maricá/RJ. Anais. Maricá/RJ: [s.i.]: (03-23). Disponível on-line em <https://docplayer.com.br/amp/9885610-Erosao-costeira-e-gerenciamento-estudo-de-caso-do-litoral-de-marica-rio-de-janeiro.html>.
- Lins-De-Barros, F. M. (2010) - *Contribuição Metodológica para Análise Local da Vulnerabilidade Costeira e Riscos Associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. 301p. Tese de Doutorado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pilkey, O. H.; Young, R. S.; Riggs, S. R.; Smith, A. W. S.; Wu, H.; Pilkey, W. D. (1993) - The concept of shoreface profile of equilibrium: a critical review. *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 9, n. 1: (255-278). ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/4298082?seq=1>.
- Rosati, J.d.; Dean, R.g.; Walton, T.L. (2013) - The modified Bruun Rule extended for landward transport. In: *Marine Geology*: 340 (71-81). ISSN: 0025-3227/\$ - DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.04.018>.
- Santos, R. C. A. L. (2004) - *Evolução da linha de costa à médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió* - Alagoas. 176p. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Scherer, M. (2013) - Gestão de praias no Brasil: Subsídios para uma reflexão. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v.13, n.1: (3-13). DOI: 10.5894/rgci358.
- Schwartz, M. L. (1967) - The BRUUN theory of sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Geology*, [s.i.], v. 75: (76-92). ISSN: 1893-2015. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/30084988?seq=1>.
- Silva, J. S. V.; Santos, R. F. (2004) - Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 21, n. 2: (221-263). Disponível on-line em <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/113810/1/v21n2p221.pdf>.
- Souza, C. R. G. (2009a) - A erosão nas praias do estado de São Paulo: Causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. In: Bononi, V. L. R.; Santos Júnior, N. A. (Orgs.). *Memórias do conselho científico da Secretaria do Meio Ambiente: A síntese de um ano de conhecimento científico acumulado*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Brasil. ISBN: 978-85-7523-025-1. Disponível on-line em [http://www.abes-sp.org.br/docs/pdf/celia\\_erosao\\_praias\\_de\\_sp-causas\\_e-efeitos.pdf](http://www.abes-sp.org.br/docs/pdf/celia_erosao_praias_de_sp-causas_e-efeitos.pdf).
- Tessler, M. G.; Goya, S. C. (2011) - Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 17: (11-23). DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0001.