



## **MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DA PRAIA DE COSTA BRAVA, ALAGOAS, BRASIL APÓS CONSTRUÇÃO DE DISSIPADOR DE ENERGIA BAGWALL**

Esdras de Lima Andrade  
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil  
[esdras.andrade@igdema.ufal.br](mailto:esdras.andrade@igdema.ufal.br)

Marco Antônio de Lyra Souza  
Analista da Ocean Protections  
[marcolyra2@yahoo.com.br](mailto:marcolyra2@yahoo.com.br)

Marco Antônio de Lyra Souza Filho  
Especialista da Construtora Ômega Ltda  
[mlyrafilho@hotmail.com](mailto:mlyrafilho@hotmail.com)

**RESUMO** – Este artigo apresenta o monitoramento espaçotemporal das posições da linha de preamar média da praia de Costa Brava e da foz do rio Sauaçuí, estado de Alagoas, Brasil. O referido rio separa os municípios de Maceió e de Paripueira e vem, ao longo dos últimos quinze anos, sofrendo forte processo erosivo fluviomarinho. Este fenômeno se dá em função da interação entre o fluxo fluvial e à deriva litorânea, resultando no efeito molhe hidráulico e na migração do local da desembocadura, muito comuns em fozes de rios. O principal objetivo do trabalho foi mostrar a eficácia da tecnologia de dissipador de energia do tipo Bagwall na recuperação de praia contígua a desembocadura de corpos fluviais. Para se chegar aos resultados, foram empregadas técnicas de cartografia digital, sensoriamento remoto e geoprocessamento no tratamento de imagens aéreas e orbitais, no mapeamento e na mensuração das posições da linha de costa e da foz do rio em questão em um recorte bitemporal. Para o processamento dos dados, foi adotado o modelo sistêmico de análise digital de linha de costa, baseado no algoritmo Digital Shoreline Analysis System; sendo os resultados modelados através do método End Point Rate. Após a execução dos procedimentos metodológicos supracitados, constatou-se que após três anos da construção da estrutura de contenção na margem esquerda do rio a erosão costeira foi contida, além de induzir a recuperação natural da praia num alargamento de aproximadamente 100 metros, devolvendo assim o uso recreativo deste ambiente. Além disso, a posição da foz do rio Sauaçuí se deslocou cerca de 500 metros no sentido de sua posição nativa. Por fim, conclui-se que a tecnologia adotada apresentou resultados positivos no período analisado, trazendo um registro importante no espaço geográfico em que só foi possível mediante análise espacial em que se baseou a metodologia utilizada.

Palavras-chave: Dissipador de energia; erosão costeira, recuperação de praia; geoprocessamento.

## **THE MORPHOLOGICAL EVOLUTION MONITORING OF COSTA BRAVA BEACH, ALAGOAS, BRAZIL, AFTER THE BAGWALL ENERGY DISSIPATOR CONSTRUCTION FACILITY**

**ABSTRACT** – This paper presents the evolution of the high tide average position of Costa Brava beach and Sauaçuí river mouth — located at Alagoas, Brazil — over three years from 2019 to 2022. This river divides the municipalities Maceió and Paripueira and has been the ground for a substantial river-marine erosion process. This erosion results from the interaction between the river flow and the longshore drift, which leads to the hydraulic jetty effect and a shift in the outfall position, a common occurrence at river

outfalls. The primary objective of this paper is to showcase the effectiveness of using the Bagwall waves energy dissipator technology in restoring the coastal line of beaches adjacent to the outlet of river hydraulic bodies. The results presented counted on techniques like digital cartography, remote sensing, and geoprocessing, mapping and measuring the positions of the river mouth and coastline considering two variables: space and time. Based on the Digital Shoreline Analysis System algorithm, the systemic digital shoreline analysis model was adopted for data processing, using the End Point Rate method to model the results. Following these methodological procedures, the monitoring showed that the erosion was gone three years after constructing the containment structure on the left coastal side of the Sauaçuí River. Furthermore, it was possible to follow up the natural fattening, enlarging the beach by 100 meters of sand, returning the sand strip to nature, and the recreational beach to the people. In addition, the river returned 500 meters to its original course position. The conclusion is that the technology presented positive results during the analysis period and brought about an essential innovation to geographical space.

Keywords: Wave energy dissipator; coastal erosion; beach restoration; geoprocessing.

## INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente de interação entre o continente e o oceano, onde ocorrem processos erosivos e deposicionais provenientes das ações dos ventos, ondas e marés que alteram significativa e constantemente a posição da linha de praia no decorrer do tempo. Este movimento, em equilíbrio, depende diretamente do balanço contínuo entre os fenômenos terrestres, oceânicos e climáticos/meteorológicos atuando numa estreita faixa de terra composta por sedimentos quartzosos inconsolidados.

De modo geral, o Nordeste brasileiro experimentou, a partir da década de 1970, o acelerado adensamento populacional das suas principais cidades, impelido pela evolução tecnológica no campo e consequente diminuição da demanda pela mão-de-obra, no qual estimularam a migração de pessoas em número cada vez maior, especialmente para as capitais, situadas no litoral.

Este acontecimento promoveu uma ocupação sem planejamento nesta faixa territorial, aumentando significativamente a pressão sobre os recursos costeiros e acelerando o desgaste de sua morfologia e do ecossistema litorâneo associado, a exemplo dos recifes, estuários, manguezais e restingas, que têm como função primaz proteger o litoral.

De acordo com Williams et al. (2021), estima-se que 74% da população mundial habita em áreas costeiras ou distantes até 50 quilômetros dos oceanos. Por esse motivo, já se torna urgente a implementação de programas de gerenciamento costeiro, a fim de minimizar os impactos antrópicos que podem desencadear desequilíbrio nestes ambientes, assim como evitar o risco de danos e prejuízos ao patrimônio e à vida daqueles que vivem nessas estreitas faixas territoriais.

Segundo informações do IBGE referentes a prévia da contagem da população do censo de 2022, presume-se que aproximadamente 56,1 milhões de pessoas, o que corresponde a 27% da população brasileira, vivem nos municípios costeiros. Estes números indicam que o Brasil possui uma alta densidade demográfica nesta faixa do seu território, com uma média de 87 hab./km<sup>2</sup>. Particularmente em Alagoas, esta densidade corresponde a aproximadamente 213 hab./km<sup>2</sup>, o que representa que cerca de 39% da população residente no estado se estabelece na faixa litorânea (IBGE, 2021).

O processo de ocupação neste espaço, muitas vezes ocorre de forma desordenada, podendo resultar em severos problemas de usos e subsequentes conflitos ambientais e territoriais, como por exemplo, a substituição da vegetação nativa por edificações, a erosão costeira e a ocupação de terrenos de marinha.

A partir deste entendimento e visando ordenar uso e ocupação da zona costeira brasileira, o governo brasileiro, através da integração de um arranjo institucional de secretarias dos ministérios da Economia, do Turismo e do Desenvolvimento Regional, junto com os governos estaduais e municipais desenvolveram uma metodologia denominada Projeto Orla que tem por objetivo qualificar os territórios com interface terra-mar tendo como primeiro procedimento o

planejamento territorial por meio de planos diretores a partir da caracterização e da classificação dos trechos de orla.

As bases para esse ordenamento encontram-se amparadas pelo decreto 5.300 de 2004, que regulamenta a lei 7.661 de 1988, propondo a aplicação de diretrizes gerais de disciplinamento de uso e ocupação da orla, ao considerar aspectos de gestão patrimonial e ambiental que valorizem a paisagem, os atrativos turísticos, a reversão de processos de degradação, a utilização sustentável da biodiversidade, dentre outros (ROCHA; FERNANDEZ; NASCIMENTO, 2013).

Neste sentido, a reversão de processos de degradação, dentre outras formas de tratativa, abre a possibilidade da recuperação de trechos de orla impactados pela conjugação de fatores naturais e antrópicos, como o avanço da ação das ondas na linha de costa e a ocupação não planejada das zonas de praia e pós-praia, respectivamente.

Com isso, a região costeira se caracteriza como um ambiente caótico, onde há constante disputa por espaços entre o oceano e o continente; ou seja, é o local onde se faz sentir toda a ação energética do mar sobre os continentes (SOUZA, 2011; p. 488). Esta concorrência pode se manifestar apenas nas formas de progradação, retrogradação e estabilidade.

Assim, Santos (2004) expõe que quando o suprimento de sedimentos é sucessivamente reforçado, ocorre um avanço da posição da linha de costa, também denominado de progradação. Na perspectiva oposta, quando a praia perde sedimentos, ocorre o recuo da linha de costa (retrogradação). A estabilidade, por sua vez, reflete o estado em que não há algum dos comportamentos anteriores.

Por efeito disso, no caso de locais em que há processos erosivos, é indispensável, antes de quaisquer intervenções na zona costeira, a realização de estudos técnicos que constatem as viabilidades técnica e ambiental de obras nos pretensos locais. Numa primeira instância, investigações de monitoramento do comportamento da evolução espaçotemporal da linha de costa tem se mostrado satisfatórias em todas as partes do mundo.

Este tipo de estudo utiliza as tecnologias modernas e acessíveis de mapeamentos e análises geográficas, bem como emprega metodologias amplamente utilizadas, a partir de registros cartográficos atuais e pretéritos, como as imagens de satélites e as fotografias aéreas, respectivamente.

Exemplos de casos exitosos de métodos e técnicas de cartografia digital, sensoriamento remoto e geoprocessamento baseadas nos princípios de modelo sistêmico de análise digital de linha de costas, tal qual o algoritmo DSAS (Digital Shoreline Analysis System), podem ser conferidos nos estudos de Thinh e Hens (2017) sobre a dinâmica dos manguezais no nordeste asiático. Valente, Tabora e Freire (2007) empregam a mesma metodologia na observação da evolução da linha de costa na praia do Alfeite, em Portugal, no período de 1958 a 2004. Na Inglaterra, técnicas similares vêm sendo adotadas na análise da morfodinâmica costeira na praia de Crantock, sudoeste inglês (OYEDOTUN, 2014).

Outras aplicações dessa metodologia podem ser encontradas em trabalhos realizados onde existem sérios problemas de erosão nas costas de países como Estados Unidos, Turquia, Itália, Camarões, Gana, Índia, Bangladesh e Vietnã, por exemplo.

Em termos nacionais, os estudos voltados à evolução da linha de costa vêm sendo amplamente praticados em toda costa brasileira. Souza et al. (2016) empregam esta técnica nas praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, município de Icapuí no estado do Ceará. Na Bahia, Nascimento (2012) usa a referida técnica no estudo do comportamento da linha de costa nos últimos cinquenta anos na Ilha de Itaparica. No estado de Santa Catarina, Albuquerque et al. (2013) monitoram a variabilidade da erosão costeira na praia de Hermenegildo.

No que diz respeito às obras de defesa costeira, atualmente muito se discute sobre sua eficácia, principalmente quando se considera os efeitos das mudanças climáticas nas cidades costeiras,

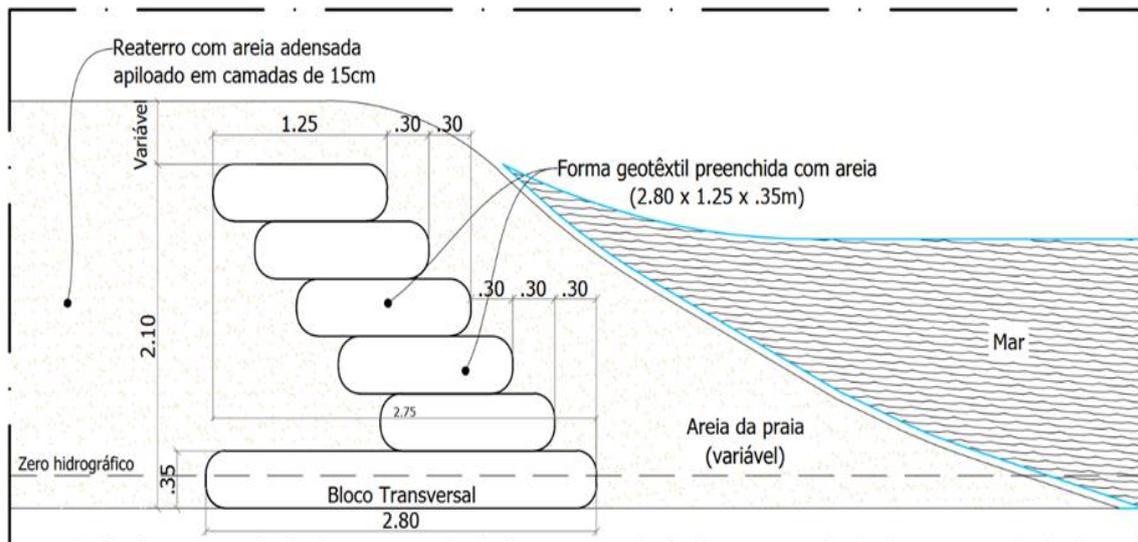
graças às evidências da intensificação dos processos de erosão e inundação, resultando no aumento da demanda por essas obras. Neste cenário, se faz necessária abordagens que exijam conceitos atualizados, engendrados na sustentabilidade ambiental visando a recuperação de terrenos praias.

Com isso, Nordstrom (2010), aponta a necessidade de se buscar uma maior eficácia nesses tipos de ações para encontrar soluções que tragam benefícios ambientais no controle da erosão costeira. Para tal, é preciso atingir metas de recuperação de praias com a utilização do conceito de naturalidade, em que as soluções de engenharia reconstruam a paisagem natural, trazendo de volta, sempre que possível, as características e funções ambientais originais do local impactado.

Dentre as possibilidades existentes de restauração de praias que atendem a essas expectativas, trazendo benefícios ambientais de grande relevância na costa do estado de Alagoas, está a tecnologia do dissipador de energia Bagwall; que corresponde a uma obra de engenharia rígida, aderente e longitudinal, moldada no local, em concreto simples ou pedra argamassada, no formato de escadaria e enterrada sob a face de dunas seguindo o caminhamento da linha de costa (Figura 1), funcionando, desta forma como um anteparo, protegendo o terreno da erosão marinha.

O comportamento desta estrutura é de contenção do avanço do mar antes da linha de preamar, dissipando a energia das ondas no local da intervenção, sem transferir o processo erosivo para áreas adjacentes. Desta forma, há a indução da recuperação do perfil de praia, equilibrando-o de modo que haja a engorda natural da praia.

**Figura 1.** Seção transversal da estrutura de contenção e recuperação da face de praia.



**Elaboração:** Autores (2023).

Este sistema dissipativo, após sua instalação, minimiza toda a energia cinética recebida, transformando-a em energia potencial pouco significativa (GALLAS, 2007), de modo que a interação da incidência do trem de ondas sobre as paredes da estrutura forma ondas reativas, que reduzem a velocidade do impacto do trem de ondas subsequente, propiciando a deposição de sedimentos arenosos no local. Isto, por sua vez, permite o aumento do atrito na camada de fundo (SOUZA, 2011).

Por fim, quando alterações no fluxo de energia incidentes intervêm na escala temporal humana, faz-se necessária a quantificação da evolução/involução da linha de costa a fim de que se possa ter ciência dos indicadores das variações.

Estudos com a finalidade de mensuração dessa variação encontram problemas pela ausência de série de dados representativos na área em questão. Logo, as comparações entre as informações contidas em documentos cartográficos existentes fornecem uma base para o conhecimento das tendências evolutivas do local.

Diante do exposto, Araújo et al. (2006) descrevem que o trecho inicial do litoral norte alagoano, no qual está inserido o município de Paripueira, e onde a área de interesse está contida, é caracterizado por indícios de erosão.

A fim de embasar conceitualmente este trabalho, admitiu-se como monitoria ou monitoramento o texto disposto na Política Nacional de Meio Ambiente, no item VII do Art. 2º da Lei nº. 6.938 de 1981, que qualifica qualquer um destes termos como o “acompanhamento do estado da qualidade ambiental”; tendo por objetivos a preservação, recuperação e melhoria da qualidade do ambiente (BRASIL, 1981).

Silva (2001) define monitoria como o acompanhamento da evolução territorial de processos e ocorrências de interesse numa determinada situação ambiental. E isto se manifesta através da comparação da ocorrência de características ambientais iguais, em que se identificam alterações de localização e de extensão ao longo de um determinado período.

O mesmo autor acrescenta ainda que a análise dessas alterações permite, dentre outras coisas, identificar ou definir a velocidade da progressão do fenômeno no espaço, a partir do cotejo em pares de dados cartografados a partir dos distintos cenários alterados ou não no decorrer do tempo.

Diante disso, o presente trabalho apresenta um monitoramento da posição da linha de costa entre os anos de 2019 e 2022, cotejando a situação do balanço sedimentar entre a pré e a pós instalação da estrutura dissipativa de energia.

## ÁREA DE ESTUDO

A área objeto deste trabalho está localizada na praia de Costa Brava, sul do município de Paripueira, região metropolitana de Maceió. Situa-se no quadrante (Figura 2) de coordenadas geográficas 9°28'22,42" e 9°28'44,26" de latitude sul e 35°33'08,94" e 35°33'27,64" de longitude oeste; estendendo-se por 570 metros ao norte da foz do rio Sauaçuí.

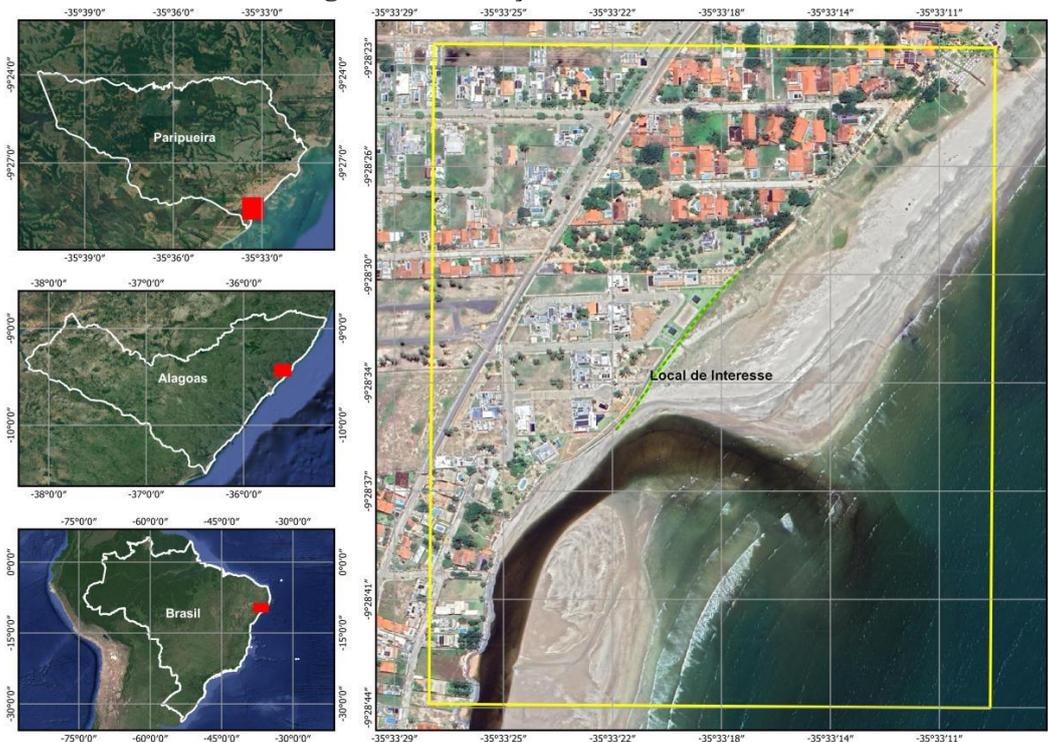
Esta praia possui uma altitude média de cinco metros na região de pós-praia e recebeu este topônimo em função da predominância do regime de altas energias de ondas incidentes na costa, caracterizando-a como uma praia de dinâmica cíclica (ALBUQUERQUE, 2016).

Na porção oceânica adjacente à área de estudo, Santos (2004) cita que o regime de marés na costa do litoral alagoano possui duas marés altas e duas baixas num período de 24 horas sob a ação constante dos ventos alísios oriundos principalmente de E-SE, no período de abril a setembro, e de N-NE, quando sopram de outubro a março. As amplitudes médias de maré de sizígia são da ordem de 2,4 m e de quadratura da ordem de 0,9 m.

A mesma autora explica que:

as ondas que cruzam a plataforma continental, no sentido do litoral proveniente de um centro gerador localizado em algum lugar no oceano, apresentam diferentes períodos e alturas, dispondo-se num espectro bem amplo. Em sua trajetória para a linha de costa, as ondas propagam-se por locais com profundidades progressivas menores, e em determinada profundidade passam a interagir com o assoalho oceânico.

**Figura 2.** Localização da área de estudo.



**Fonte:** Adaptado a partir do *tileset* WMS do Google Earth (2022).

De acordo com Santos (2004), a circulação costeira, que é influenciada pelos ventos e marés, principalmente pelos ventos alísios de Leste e Sudeste, que predominam na maior parte do ano, são os principais responsáveis por determinar o sistema de ondas que atingem a costa, gerando a corrente de deriva litorânea, fundamental para o processo evolutivo do litoral.

Já na porção continental adjacente ao local de interesse, é constituída pela unidade litológica dos Sedimentos Praiais e Aluviais, que são compostas por areias maciças quartzosas e fragmentos de conchas com granulometria variando de fina a média (BAHIA, 1993).

A unidade geomorfológica corresponde à feição Praia Oceânica, que se constitui um ambiente frontal, compreendendo uma faixa estreita e inclinada, submetida pela ação direta das marés de maior amplitude. São formados por sedimentos de areias bem selecionados (SILVA et. al., 2004).

A unidade pedológica presente na planície litorânea em questão, de acordo com Embrapa (2012), corresponde aos Neossolos Quartzarênicos, que se caracterizam por serem solos não hidromórficos, variando de profundos a muito profundos, excessivamente drenados e essencialmente quartzosos, apresentando relevo plano e ligeiramente suave ondulado. São de baixa fertilidade natural, praticamente sem reserva de minerais primários e pouco resistentes ao intemperismo físico, principalmente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento da recuperação da praia de Costa Brava consistiu basicamente na adoção de três etapas para se alcançar os objetivos propostos, que são de representar geograficamente a transformação da linha de costa e quantificar suas variações no tempo e no espaço.

O acompanhamento da variação da linha de preamar média (LPM) ocorreu em datas anterior e posteriores à instalação da obra de contenção e recuperação, conforme Quadro 1.

**Quadro 1.** Marcos temporais do monitoramento da variação da posição da linha de costa.

Registros	Datas
Registro de referência (linha de base)	02/03/2019
Término da implantação do bagwall*	27/07/2019*
Primeiro monitoramento	29/09/2019
Segundo monitoramento	18/10/2020
Terceiro monitoramento	27/07/2021
Quarto monitoramento	29/10/2022

\* Registro não mensurável

Para tornar isso possível, foram utilizadas imagens de satélite, com datas de registros dispostas no Quadro 1, acessíveis pela plataforma Google Earth Pro. As imagens foram salvas na resolução máxima de 8.190 x 5.108 pixels em formato PNG e tiveram de atender, além da disponibilidade na plataforma, aos critérios básicos de ausência de cobertura de nuvens, equivalência de altura de marés registradas nas datas em questão e qualidade de representação na escala de 1:2.000.

Isto posto, os três procedimentos metodológicos corresponderam a: a) pré-processamento, que equivale à correção geométrica das referidas imagens; b) processamento, que corresponde a delimitação das linhas de preamar médias; e c) pós-processamento, que representa a mensuração e quantificação dos resultados. Estas etapas são explanadas a seguir.

### **Correção geométrica das imagens de satélite**

A correção geométrica das imagens corresponde ao processo de ajuste e correção da localização espacial dos pixels nas imagens, a fim de proporcionar mapeamentos com precisão em coordenadas geográficas reais.

Para isto, adotou-se como referência uma imagem de satélite correspondente ao ano de 2011, disponibilizada pela Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio de Alagoas – SEPLAG-AL, com resolução espacial de 0,4 metro e, portanto, compatível com a escala 1:2.000.

Esta imagem foi adquirida já ortorretificada no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 25L e datum planimétrico SAD-69, de codificação EPSG 29195, sendo posteriormente reprojeta para o datum SIRGAS-2000 de código EPSG 31985.

Para proceder o georreferenciamento, utilizaram-se pontos de controle (PCs), que são locais análogos identificados tanto na imagem base quanto na imagem alvo; sendo distribuídos ao longo da área de interesse para se obter o melhor desempenho no processo (ARAÚJO et al., 2009); que neste estudo, priorizou-se a precisão do georreferenciamento no entorno imediato nas linhas de costa das mencionadas imagens.

Durante este processo, o erro médio quadrático (Root Mean Square - RMS) obtido no georreferenciamento foi sempre inferior a 50% em relação ao erro de graficismo de cada imagem, superando, portanto, em duas vezes a recomendação de ABNT, 1994.

### **Delimitação das LPM**

A linha de costa corresponde, basicamente, ao traçado situado entre a terra e a água do oceano e, por isso, ela é considerada móvel, dada a variabilidade espacial e temporal das ondas. De acordo

com Marino e Freire (2013), os critérios que a definem devem ser rigorosos, de maneira que sua delimitação permita comparações em períodos distintos.

Para tal, de acordo com esses mesmos autores, a definição e a delimitação da linha de costa a partir de aerofotos e imagens de satélite adota o critério de linha de preamar média (LPM), a qual é determinada pela linha visível que divide os sedimentos secos dos sedimentos molhados da praia oceânica. Para Crowell et al. (1991), Anders e Byrnes (1991) e Leatherman (2003), a LPM representa uma boa opção como indicador da linha de costa, por melhor representar as posições das máximas variações durante o dia da obtenção da fotografia aérea e/ou das imagens de satélites, minimizando, com isso, erros de variações diurnas.

Desse modo, mediante o que foi exposto, no presente trabalho, as linhas de costa foram delimitadas através de um processo de vetorização em tela, a partir das referidas imagens de satélite, visando quantificar as variações dinâmicas e auxiliar na metodologia de análise, a partir de uma série bitemporal de dados remotos realizada em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Assim, a delimitação das LPM se deu após a manipulação de contrastes e magnificação (enhancement), no software QGIS 3.22, aplicadas sobre as imagens de satélites multiespectrais. Desse modo, a LPM tornou-se mais destacada e possibilitou a sua digitalização na área em questão, em datas distintas, sendo posteriormente editadas quanto aos seus atributos topológicos. Tais processamentos se deram no mesmo SIG, gerando vetores de linhas no formato Geopackage (GPKG).

### **Mensuração da variação da linha de costa**

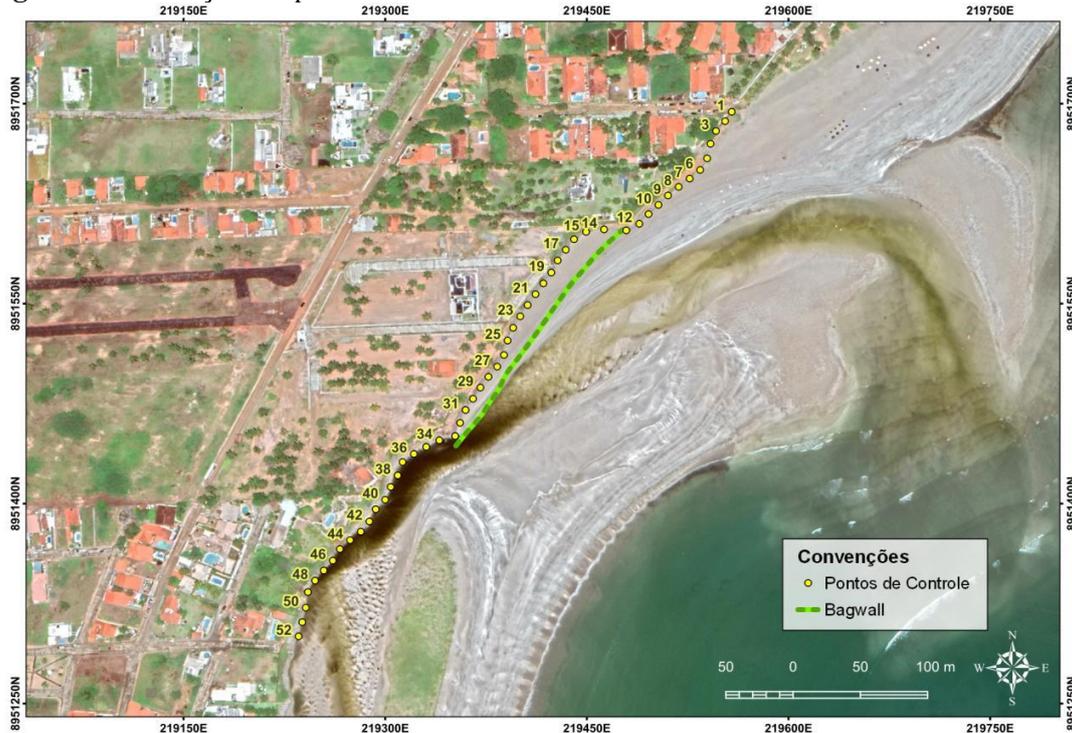
Após a etapa de mapeamento, procedeu-se a fase de mensuração e análise das taxas de variação das LPM, que foram obtidas utilizando o princípio básico do algoritmo DSAS (Digital Shoreline Analysis System), no qual se calculam as estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal a partir de dados vetoriais da linha de costa. Essas taxas se referem aos comprimentos dos transectos que interceptam as LPM e se expressam em metros por ano (m/ano); sendo em seguida, realizado o cotejo entre os dados geográficos, proporcionando o cálculo da variação entre os períodos selecionados.

O método estatístico para realizar o cálculo da variação das taxas de recuo e avanço da linha de costa adotado neste trabalho foi o EPR (End Point Rate), no qual faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento espacial das LPM pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual (THIELER et al, 2009). Ou seja, é uma relação espaçotemporal, onde é medida a distância em metros entre as duas linhas, que em seguida é dividida pelo intervalo de tempo existente entre elas (linha mais antiga e a mais recente), tendo assim um produto em unidade m/ano.

A maior vantagem desse método (ERP) é sua facilidade da computação e exigência mínima de dados. Bastam apenas duas linhas para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação.

A determinação das taxas de variação da área em questão se deu por meio de transectos perpendiculares a linha de costa, com espaçamento equidistante de 10 metros ao longo de 520 metros de faixa de praia, perfazendo um total de 52 transectos. A localização desses transectos foi feita, através do registro das coordenadas UTM, fuso 25L com Datum horizontal SIRGAS-2000, mantendo a equidistância entre os pontos de amostragem (Figura 3), servindo de referência para os monitoramentos objetos deste trabalho.

**Figura 3.** Localização dos pontos de controle dos transectos referente às LPM no trecho estudado.



Fonte: Autores a partir da imagem do Google Earth em 02/03/2019.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o conceito de monitoria adotado neste trabalho, foram realizados cotejos dos dados cartografados das posições das LPM entre o registro de referência (linha de base) e os monitoramentos subsequentes, resultando assim em quatro comparações, descritas a seguir.

Baseado nas mensurações realizadas a partir dos dados mapeados, constatou-se que no primeiro período de comparação (02/03/2019 – 29/09/2019), a variação média foi de 6,15 m em todo o trecho analisado, o que corresponde a uma taxa de 1,02 m por mês, no intervalo de seis meses (Tabela 1).

**Tabela 1.** Variações espaciais da posição das LPM ao longo do tempo monitorado.

Cotejo	Períodos dos Cotejos	Qtde Meses Cotejados	Variação Mínima (m)	Variação Média (m)	Variação Máxima (m)	Variação Média Mensal (m/mês)
1º	02/03/2019 – 29/09/2019	6	-4,07	6,15	21,83	1,02
2º	02/03/2019 – 18/10/2020	19	-8,80	5,48	20,11	0,29
3º	02/03/2019 – 27/07/2021	28	-7,88	11,72	33,48	0,42
4º	02/03/2019 – 29/10/2022	43	-10,24	60,95	136,42	1,42

No segundo cotejo (entre 02/03/2019 e 18/10/2020) a variação foi de 0,29 m/mês, totalizando uma alteração média de 5,48 m ao longo de 19 meses, com registros máximo e mínimo de 20,11 m e -8,80 m, respectivamente.

Na terceira comparação (entre 02/03/2019 e 27/07/2021), referente a 28 meses de monitoramento, a transformação média da linha de costa foi de 11,72 metros, o que equivale a 0,42 m/mês. Decorridos 43 meses (entre 02/03/2019 e 29/10/2022) do primeiro registro da posição da LPM, o avanço no sentido do oceano foi, em média, de 60,95, equivalendo a 1,42 m/mês.

Diante destes números, verifica-se que houve uma evolução dos perfis de praia ao longo do tempo monitorado, indicando que a intervenção conteve não só o processo erosivo, mas induziu a engorda natural do ambiente (Figuras 4, 5, 6 e 7), ou seja, sem a necessidade de acresção de sedimentos por meios mecânicos.

**Figura 4.** Variação da LPM entre 02/03/2019 e 29/09/2019.



Fonte: Autores a partir da imagem do Google Earth em 29/09/2019.

**Figura 5.** Variação da LPM entre 02/03/2019 e 18/10/2020.



Fonte: Autores a partir da imagem do Google Earth em 18/10/2020.

Figura 6. Variação da LPM entre 02/03/2019 e 27/07/2021.



Fonte: Autores a partir da imagem do Google Earth em 27/27/2021.

Figura 7. Variação da LPM entre 02/03/2019 e 29/10/2022.



Fonte: Autores a partir da imagem do Google Earth em 29/10/2022.

Ao restringir a análise ao trecho onde houve a intervenção com a instalação do bagwall, situado entre os transectos 13 e 33, a posição da LPM variou positivamente em todas as comparações. No primeiro cotejo o alargamento da LPM foi, em média, de 14,74 m, correspondendo a 2,46 m/mês (Tabela 2). Na segunda comparação, a variação foi mais discreta, situando-se bem próxima do primeiro período, onde a posição da LPM se afastou do local erodido em cerca de

13,12 m (0,69 m/mês), indicando uma estabilização do perfil praial defronte à obra de engenharia.

**Tabela 2.** Variações espaciais da posição das LPM no trecho da estrutura de bagwall.

Cotejo	Períodos dos Cotejos	Quantidade Meses Cotejados	Variação Mínima (m)	Variação Média (m)	Variação Máxima (m)	Variação Média Mensal (m/mês)
1º	02/03/2019 – 29/09/2019	6	-0,63	14,74	21,83	2,46
2º	02/03/2019 – 18/10/2020	19	-2,26	13,12	20,11	0,69
3º	02/03/2019 – 27/07/2021	28	6,01	20,25	33,48	0,72
4º	02/03/2019 – 29/10/2022	43	6,57	92,13	136,42	2,14

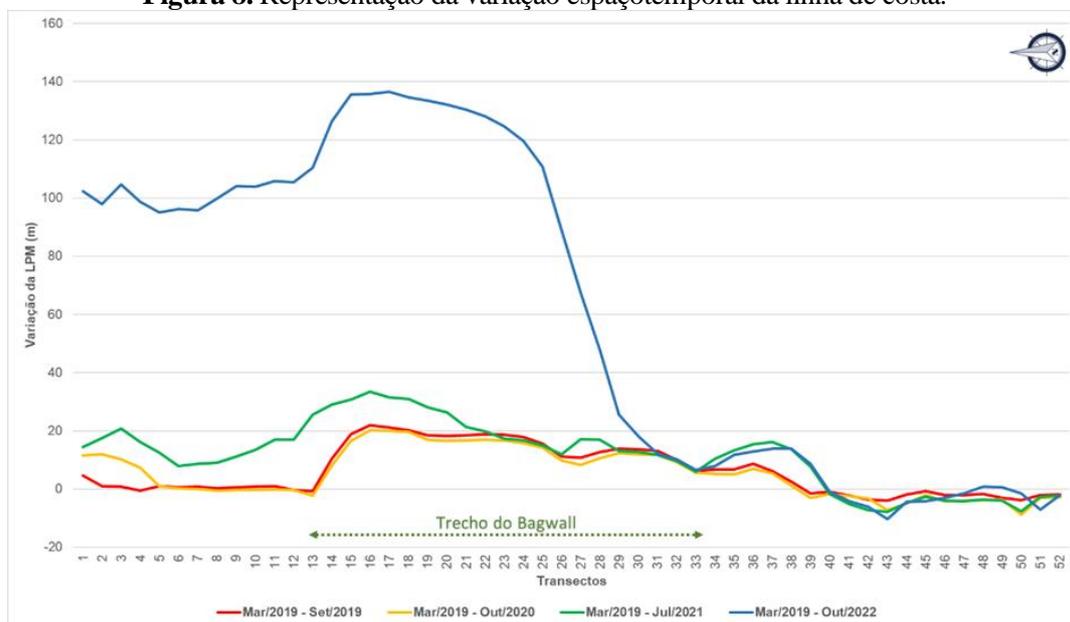
No terceiro monitoramento, começa-se a observar uma acresção mais significativa de sedimentos arenosos no trecho em questão, em torno de 54,34% em relação ao monitoramento anterior. Isto se traduz em uma variação média de 20,25 m, ou 0,72 m/mês. Já no cotejo mais recente, se constata a efetivação do objetivo da obra, de recuperar o trecho da praia. Foi mensurada uma engorda média de 92,13 metros (2,14 m/mês), o que representa um afastamento da LPM da área erodida em 354,96% no intervalo temporal de 15 meses entre os dois últimos monitoramentos.

A Figura 8, a seguir, explicita ao menos três condições do processo de sustentabilidade da obra:

- a) a contenção do dano, observado no período entre 02/03/2019 e 29/09/2019 (Linha Vermelha);
- b) a estabilização do terreno, percebível por meio do período compreendido entre 02/03/2019 e 18/10/2020 (Linha Amarela), indicando que praticamente não ocorreu grandes variações na LPM no respectivo período; e
- c) a recuperação do ambiente em estágio próximo do ideal, testemunhado pelos períodos de 02/03/2019 e 27/07/2021 e 02/03/2019 e 29/10/2022 (Linha Verde, indicando uma acresção de área com alargamento superior a 30 m no trecho do bagwall e a norte da obra) e (Linha Azul, apontando um alargamento além de 100 m no trecho da obra e ao seu norte).

Esta sistematização deve proporcionar uma permanência, pelo menos, de longo prazo na integração dos fatores sociais, energéticos, econômicos e ambientais da área em questão, essenciais num sistema sustentável.

**Figura 8.** Representação da variação espaçotemporal da linha de costa.



Do ponto de vista geográfico, é possível inferir que em todo o trecho analisado (transectos 1 a 52), a modelagem natural da linha de costa está em conformidade com a intervenção do bagwall, ou seja, a partir da edificação da referida estrutura de contenção, tanto em seu trecho (transectos 13 a 33) quanto a seu Norte (transectos 1 a 12), há forte deposição de sedimentos. Já no sentido Sul da obra, na direção da foz do rio Sauaçu (transectos 34 a 52), o processo erosivo permanece atuante, embora, em certo equilíbrio, com variações dentro do esperado. Este comportamento sinaliza que a obra não transferiu ou intensificou o processo erosivo para a área. Em termos areais, o cálculo de área resultou numa extensão progredida de 30.134,83 m<sup>2</sup> (Tabela 3), comportando um pacote sedimentar com volume de aproximadamente 91.456 m<sup>3</sup> ao longo dos 520 metros mapeados nos 43 meses monitorados. Este volume é cerca de 4,4 vezes superior ao do período anterior, confirmando o comportamento esperado para o local

**Tabela 3.** Balanço sedimentar da variação espacial da LPM em todo trecho analisado.

Situação da LPM	Mar/2019		Mar/2019		Mar/2019		Mar/2019	
	Set/2019		Out/2020		Jul/2021		Out/2022	
	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Progredação	3.519	10.839	3.358,1	10.343	6.700,9	20.639	30.135	91.456
Retrogradação	-324,9	-	-572,8	-	-626,1	-	-460,0	-
Balanço	3.194,2	-	2.785,3	-	6.074,8	-	29.674,9	-

O balanço sedimentar, disposto na Tabela 3, indica que em todos os períodos comparados houve expansão da LPM com valores aproximados de 532,37 m<sup>2</sup>/mês, 146,6 m<sup>2</sup>/mês, 217,0 m<sup>2</sup>/mês e 690,1 m<sup>2</sup>/mês, respectivamente. Desta forma, com a emersão do perfil de praia, a regeneração da paisagem natural ocorreu com a formação da berma, e o surgimento natural da vegetação herbácea, típica de ambientes de pós-praia (Figuras 9 e 10), além de devolver o uso recreativo do ambiente à população.

**Figura 9.** Vista ao sul da vegetação típica de berma desenvolvida espontaneamente.



Fonte: Autores.

**Figura 10.** Vista ao norte da vegetação típica de berma desenvolvida espontaneamente.



**Fonte:** Autores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada no monitoramento da evolução da linha de costa, apoiada por técnicas de sensoriamento remoto, cartografia digital e geoprocessamento, permitiram realizar comparações em quatro recortes temporais, auxiliando na modelagem espacial e no diagnóstico das alterações ocorridas na face praial analisada.

Estas transformações, decorrentes da instalação de estrutura dissipativa de energia do tipo bagwall, induziram a deposição natural de sedimentos praias e aluviais, inclusive no canal do rio Sauaçuí, fazendo com que sua desembocadura recuasse aproximadamente 500 metros, no sentido sul da posição inicial estudada.

Diante disso, o trabalho expõe um retrato espaçotemporal limitado, que exprime apenas um período recente da história relativo ao fenômeno analisado; recomendando-se, portanto, que haja um monitoramento continuado da temática, em longo prazo, de maneira que se possa coletar dados e elaborar informações consubstanciadas, no intuito de melhor entender a dinâmica hidrossedimentológica do local.

Finalmente, salienta-se que, sob o ponto de vista prático, os resultados presentes neste trabalho podem servir de subsídio aos gestores e técnicos da administração pública com dados e informações essenciais para o desenvolvimento de projetos e/ou programas preventivos adequados à minimização dos problemas advindos da dinâmica costeira, bem como na elaboração de medidas para redução de prejuízos sociais, econômico e ambientais.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. 13133 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 35 p. Disponível em: <https://bit.ly/3ZTDlaR>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ALBUQUERQUE, André Luiz Santos de. Evolução urbana e caracterização geoambiental da planície costeira do município de Paripueira - Alagoas. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

ALBUQUERQUE, Miguel et al. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. *Journal Of Coastal Research*, [s.l.], v. 165, p.1710-1714, 3 jan. 2013. Coastal Education and Research Foundation. <http://dx.doi.org/10.2112/si65-289.1>.

ANDERS, Fred J.; BYRNES, Mark R.. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore And Beach*, ?, v. 1, n. 59, p.17-26, jan. 1991. Disponível em: <https://bit.ly/3ZDeAA0>. Acesso em: 07 fev. 2023.

ARAÚJO, Tereza Cristina Medeiros de; SANTOS, Rochana Campos de Andrade Lima; SEOANE, José Carlos Sícoli; MANSO, Valdir do Amaral Vaz. Erosão e progradação do litoral brasileiro - Alagoas. In: MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, MMA, 2006, p. 197-212.

BAHIA. Governo da Bahia, Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia, Seplantec, Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia, Conder. Área de Proteção Ambiental - Litoral Norte. S.I. Plano de Manejo, 1993. 174p.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Lei Nº 6938, de 31 de Agosto de 1981. Brasília, DF, 02 set. 1981. Disponível em: <https://bit.ly/3Ffj6Nc>. Acesso em: 09 jan. 2023.

\_\_\_\_\_. Lei nº 7661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Lei Nº 7.661, de 16 de Maio de 1988. Brasília, DF, 18 maio 1988. Disponível em: <https://bit.ly/3GYRkEA>. Acesso em: 23 jan. 2023.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 5300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Decreto Nº 5.300 de 7 de Dezembro de 2004. Brasília, DF, 8 dez. 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3XM8ImM>. Acesso em: 23 jan. 2023.

CROWELL, Mark; LEATHERMAN, Stephen P.; BUCKLEY, Michael K. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal Of Coastal Research*, Fort Lauderdale, v. 7, n. 3, p.839-852, jul. 1991. Disponível em: <https://bit.ly/3mJiFnG>. Acesso em: 11 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento em Recife. Mapa pluviométrico do estado de Alagoas. In: \_\_\_\_\_. Zoneamento agroecológico de Alagoas. Recife: Convênio SEAGRIL, EMBRAPA, Solos, nº 10200.09/0134-5. 2012.

GALLAS, Jason Alfredo Carlson. Transição para o Caos em Sistemas Dissipativos. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 13 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@: sistema agregador de informações sobre os municípios e estados do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2023.

LEATHERMAN, Stephen P.. Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal Of Coastal Research*, West Palm Beach, v. 38, n. 1, p.5-13, nov. 2003. Disponível em: <https://bit.ly/3JtWwTy>. Acesso em: 21 fev. 2023.

MARINO, Márcia Thelma Rios Donato; FREIRE, George Satander Sá. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, [s.l.], v. 13, n. 1, p.113-129, mar. 2013. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH). <http://dx.doi.org/10.5894/rgci373>.

NASCIMENTO, Lucas do. Comportamento da linha de costa nos últimos 50 anos e o risco de prejuízos econômicos na face oceânica da Ilha de Itaparica - Bahia. 2012. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

NORDSTROM, Karl F.. Recuperação de praias e dunas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 263 p.

OYEDOTUN, Temitope D. T.. Shoreline Geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis. *British Society For Geomorphology: Geomorphological Techniques*, London, v. 3, n. 22, p. 1-12, jan. 2014. ISSN 2047-0371. Disponível em: <https://bit.ly/3ZY0Z7d>. Acesso em: 21 jan. 2023.

ROCHA, Thaís Baptista da; FERNANDEZ, Guilherme Borges; NASCIMENTO, Lídice Cabral. Avaliação dos critérios morfodinâmicos para a fase de diagnóstico do projeto orla: um estudo de caso em praias arenosas com desembocaduras fluviais. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 333-347, ago. 2013. Quadrimestral. Disponível em: <https://bit.ly/3kywILR>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SANTOS, Rochana Campos de Andrade Lima. Evolução da linha de costa a médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais da planície costeira de Maceió. Recife, 2004, 157 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, 2004.

SILVA, Jorge Xavier da. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro: Independente, 2001. 228 p.

SILVA, Cleverson Guisan. et al. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa. In: BATISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Cap. 8, p.175-218.

SOUZA, Wallason Farias de et al. O uso de SIG na análise da evolução de linha de costa controlada por promontório: trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, Icapuí-Ceará. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v. 2, n. 18, p.20-35, set. 2016. ISSN 2316-8056.

SOUZA, Marco Antônio de Lyra. Recuperação de Praias com o uso do Dissipador de Energia Bagwall no Litoral dos Estados de Alagoas e do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 487-489, dez. 2011. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH). <http://dx.doi.org/10.5894/rgci302>. Disponível em: <https://bit.ly/3kzytIN>. Acesso em: 22 jan. 2023.

THIELER, E. Robert et al. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - an ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3l0oDjB>. Acesso em: 10 jan. 2023.

THINH, Nguyen An; HENS, Luc. A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy Coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005-2014. *Vietnam Journal Of Earth Sciences*, Hanói, v. 1, n. 39, p.87-96, mar. 2017.

VALENTE, Cátia; TABORDA, Rui; FREIRE, Paula. Digital shoreline analysis system: exemplo de aplicação à praia do Alfeite. 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3kFwlyY>. Acesso em: 20 jan. 2023.

WILLIAMS, Brooke A.; WATSON, James E.M.; BEYER, Hawthorne L.; KLEIN, Carissa J.; MONTGOMERY, Jamie; RUNTING, Rebecca K.; ROBERSON, Leslie A.; HALPERN, Benjamin S.; GRANTHAM, Hedley S.; KUEMPEL, Caitlin D.. Global rarity of intact coastal regions. *Conservation Biology*, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 1-12, 6 fev. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.13874>.