

VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA DA ENSEADA DA PAJUÇARA, ENTRE 1955 E 2020, MACEIÓ-AL: UMA ANÁLISE PELO MÉTODO EPR

VARIATIONS OF THE COASTLINE OF THE COVE OF PAJUÇARA BETWEEN 1955 AND 2020, MACEIÓ-AL: AN ANALYSIS THROUGH THE EPR METHOD

VARIACIONES DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA ENSENADA DE PAJUÇARA, ENTRE 1955 Y 2020, MACEIÓ-AL: UN ANÁLISIS POR EL MÉTODO EPR

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v15i0.1300>

THIAGO CAVALCANTE LINS SILVA ^{1*}

BRUNO FERREIRA ²

MARCO TÚLIO MENDONÇA DINIZ ³

¹ Geógrafo, Doutorando do Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Centro de Ciências Humanas Letras e Artes (CCHLA), Campus Universitário. Avenida Senador Salgado Filho, nº3000 – BR 101 km, 92, Lagoa Nova, CEP 59078-970, Natal (RN), Brasil, thiago0_lins@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-8401-5274>

* Autor correspondente

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDema), Campus A. C. Simões. Avenida Lourival Melo Mota, S/n, Bairro Tabuleiro do Martins, CEP 57072-970, Maceió (AL), Brasil, brunge2005@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1237-1805>

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Centro de Ensino Superior do Seridó (CERES), Campus de Caicó. Rua Joaquim Gregório, s/n, Bairro Penedo, CEP 59.300-000, Caicó (RN), Brasil, tuliogeografia@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7676-4475>

Histórico do Artigo:

Recebido em 10 de Novembro de 2023.

Aceito em 25 de Março de 2024.

Publicado em 31 de Março de 2024.

RESUMO

As linhas de costa representam uma submorfolgia marcante, representando importantes testemunhos de processos de remoção e inserção de areia na praia. Pensando nisso, o presente estudo buscou analisar as variações das linhas de costa da Enseada da Pajuçara, entre 1955 até 2020, sendo aplicado o modelo EPR4Q 3.14 para o cálculo das taxas de variações entre os anos, utilizando para isso dados de satélite e fotografias aéreas, processadas através do software QGIS 3.14. Os resultados demonstraram que grande parte da porção sul e central da Enseada obteve valores compatíveis com equilíbrio com valores entre 0,5 até -0,5 m/a, enquanto que uma pequena porção no norte foram encontrados processos erosivos com variações com taxas de -0,5 até -1 m/a. Nestas porções ainda foram encontradas diversas estruturas de contenção, que se mostraram não tão efetivas na contenção de marés meteorológicas, necessitando de estruturas mais efetivas ou o estabelecimento de projetos de gestão de orla efetivos, que se não aplicados pode intensificar ou mesmo dobrar a ação dos processos erosivos em perspectivas futuras. Os dados gerados podem ser incorporados em planos de gestão visando a conservação e recuperação das áreas.

Palavras-Chave: Praia. Erosão. Enseada.

ABSTRACT

The coastlines constitute a striking sub-morphology, representing important evidence of processes of sand removal and addition on the beach. Considering this, the present study sought to analyze the variations of the coastlines of the Cove of Pajuçara, between 1955 and 2020, using the EPR4Q 3.14 model to calculate the variation rates between these years, making use of satellite data and aerial photographs processed through the QGIS software. The results showed that a large part of the

southern and central portion of the Cove obtained values compatible with equilibrium between 0.5 and -0.5 m/a, while a small portion in the north was found to have erosive processes with variation rates between -0, 5 and -1 m/a. In these portions, several retaining structures that proved to be not so effective in retaining meteorological tides were still found, requiring more effective structures or the implementation of effective waterfront management projects, which, if not applied, may intensify or even double the action of erosion processes in future perspectives. The generated data can be incorporated into management plans aiming at the conversation and recovery of the specific areas.

Keywords: Beach. Erosion. Cove.

RESUMEN

Las líneas de costa representan una notable submorfolología, representando importantes testimonios de procesos de remoción e inserción de arena en la playa. Teniendo en cuenta esto, el presente estudio buscó analizar las variaciones de la línea de costa de la Ensenada de Pajuçara, entre 1955 y 2020, aplicando el modelo EPR4Q 3.14 para calcular las tasas de variación entre los años, utilizando datos satelitales y fotografías aéreas, procesados a través del software QGIS 3.14. Los resultados mostraron que una gran parte de la porción sur y central de la Ensenada obtuvo valores compatibles con el equilibrio con valores entre 0,5 a -0,5 m/a, mientras que una pequeña porción en el norte se encontraron procesos erosivos con variaciones con tasas de -0,5 a -1 m/a. En estas porciones se encontraron varias estructuras de contención, que resultaron no ser tan efectivas para contener las mareas meteorológicas, requiriendo estructuras más efectivas o el establecimiento de proyectos efectivos de gestión costera, que si no se aplican pueden intensificar o incluso duplicar la acción de los procesos erosivos en perspectivas futuras. Los datos generados pueden incorporarse a los planes de gestión destinados a la conservación y recuperación de las zonas.

Palabras-Clave: Playa. Erosión. Ensenada.

INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros compreendem um mosaico complexo de sistemas naturais, ambientais e antrópicos, resultantes de uma mesclagem de processos multidirecionais. Essas áreas são sucessivamente submetidas a trabalhos geomorfológicos distintos provenientes de vetores marinhos, continentais e eólicos, configurando assim uma faixa transicional (AB'SABER, 2001; SUGUIO, 2008). As interações desses sistemas geomorfológicos transicionais acabam gerando uma variedade de feições geomorfológicas distintas, como os cordões arenosos, as praias, os campos de dunas litorâneas e planícies alagadiças e falésias.

A estruturação das formas costeiras está intimamente ligada a trocas de energia, onde determinadas variáveis interagem, formando leitos deposicionais diversos, em outras palavras geram formas sedimentares variadas (GIANNINI, 2007); estas por sua vez apresentam baixo grau de resiliência sendo moderadamente susceptíveis a mudanças na entrada de energia no sistema (BIRD, 2008; DAVIS, 2013). Um exemplo marcante destas dinâmicas são as dunas costeiras e as praias, que possuem características de sistemas caóticos, apresentando processos quase que imprevisíveis, podendo reagrupar-se constantemente em formas distintas em curtos intervalos de tempo (GIANNINI, 2007; MUEHE, 2011). Entretanto, quando analisadas a longo prazo, estas podem representar contexto auto organizacional, apresentando configurações semelhantes ao longo dos milênios ou mesmo décadas, uma vez que processos naturais pretéritos e configurações de condições limites podem comumente se repetir ao longo do tempo.

As praias em especial possuem caráter auto organizacional, por apresentar baixa susceptibilidade de resiliência. Podendo apresentar padrões semelhantes de respostas a determinadas interferências, devido a sua natureza instável e multivariável. Influenciando diretamente em seu balanço energético, repercutindo em modificação constantes, alterando o balanço morfodinâmico praial, consequentemente em episódios de retirada e reposição de areia, alterando as características morfológicas praias, a exemplo da retrogradação e progradação da linha de costa (SILVA et al., 2016).

O conceito de linha de costa é bastante discutido no contexto acadêmico, entretanto, não há um consenso em sua definição. Dentre as diversas definições, a mais comum apresentada

nos estudos sobre esses ambientes é a definição de uma Linha de Preamar Média (LPM), entendida como a superfície de contato entre sedimentos secos e sedimentos úmidos em um contexto praial (MUEHE, 2002). Esta por sua vez pode variar de acordo com a dinâmica sazonal da praia a médio prazo, podendo avançar ou recuar em relação ao nível do mar mediante a deposição ou remoção de sedimentos, resultando em processos de acreção ou erosão.

A erosão praial é tema recorrente nos estudos, sendo fruto de preocupações constantes relacionadas a resiliência das mesmas frente aos processos erosivos intensos e o avanço do nível médio do mar, o que condicionou o surgimento e aplicação de diversos métodos de monitoramento, a exemplo dos métodos de monitoramento por geoindicadores (BARGER, 1996; MARTINS, 2016; BONETTI, et al. 2018), monitoramento por fotografias aéreas e imagens de satélite (BOAK; TURNER, 2005; DEABES, 2017), monitoramento por perfis topográficos (MUEHE, 1998; LEE et al. 2013) e os emergentes monitoramentos tridimensionais por VANTs, os Veículos aéreos não tripulados, (SIMÕES e OLIVEIRA, 2020; CASELLA et al. 2020), que visa analisar a integridade de praia ao longo do tempo, cada um possui sua precisão e aplicabilidade para um contexto espacial e temporal específico, além de determinada demanda.

As técnicas de monitoramento por fotografias aéreas e imagens de satélite são os mais comuns e assertivos métodos de monitoramento de Praia, uma vez que leva em consideração as variações da LPM em um determinado intervalo, detectada através de métodos de classificação de imagens ou mesmo manuais, possibilitando o cálculo de suas variações em metros por um determinado período (CROWELL et al. 1991; ANDERS; BYRNES, 1991 e LEATHERMAN, 2003).

Há variados métodos de cálculo de variações de linhas de costa, porém existem três principais métodos corriqueiramente utilizados: o EPR (*End Point Rate*), que leva em consideração no cálculo as linhas recentes e antigas; o LRR (*Linear Regression Rate*), que leva em conta as variações através de taxas de erosão e acreção média; o NSM (*Net Shoreline Movement*), representa a variação bruta entre os anos (TO e THAO, 2008; ZAGÓRSKI et al. 2020; GHADERI e RAHBANI, 2020). Cada método possui sua potencialidade, entretanto considerando lapsos temporais de dados acima de 50 a 100 anos tornam o método EPR mais indicado para análises temporais a longo prazo (GALGANO et al. 1998; BASIOUNY et al. 2017, SEBAT e SALLOUM, 2018).

O presente estudo buscou analisar a variação da linha de costa da Enseada de Pajuçara entre 1955 e 2020, analisada através do cálculo de variação da LPM pelo método EPR, identificando as taxas de movimentação e também as variações brutas; além das variações de áreas entre os anos e por fim modelar os cenários futuros. Tal proposta se justifica pelo fato de que a localidade em questão vem passando desde 1800 por sucessivas transformações provenientes de massiva ocupação urbana relacionada ao turismo local (LIMA, 2004), necessitando assim de análises dos impactos decorrentes desta massiva ocupação. Pensando nisso, o presente estudo buscou contribuir com a oferta de informações que podem ser utilizadas pelo Poder Público no planejamento territorial e tomada de decisão.

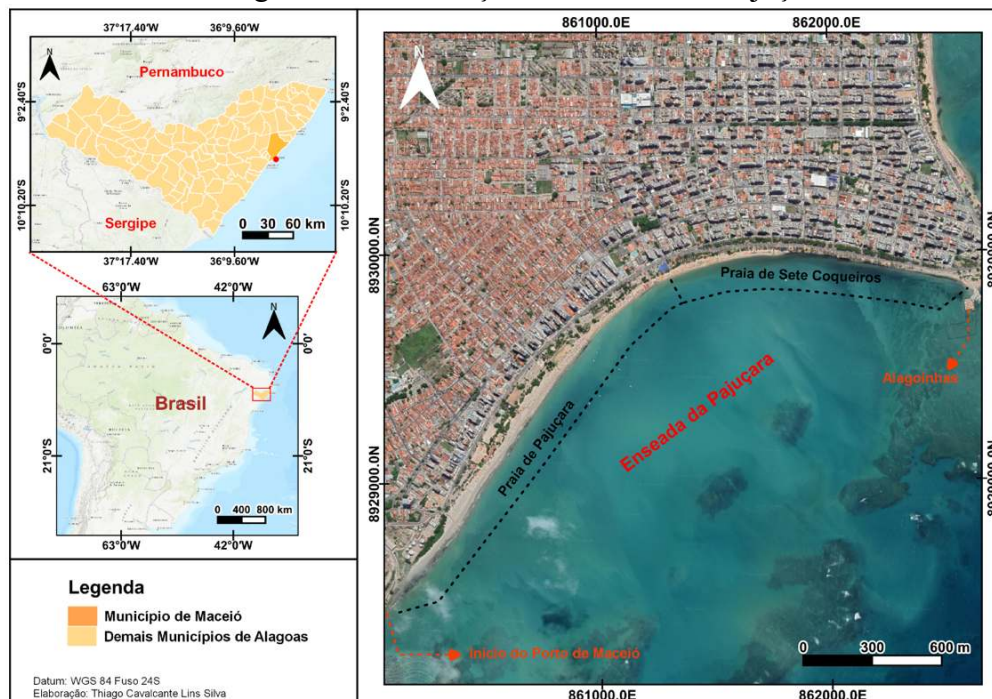
MATERIAIS E MÉTODO

Localização da área de estudo

A Enseada da Pajuçara (Figura 1), formada pelas praias de Sete Coqueiros e Pajuçara, localiza-se na porção Central do município Maceió, estando inserida próximo ao centro da Cidade, com uma extensão de aproximadamente 3,24 km estreitando-se entre o início do Porto de Maceió e as estruturas do Alagoinhas (antigo Alagoas Iate Clube), dividindo-se em Praia da

Pajuçara e Praia dos Sete Coqueiros. Essa área está inserida no contexto dos cordões arenosos litorâneos estruturados sobre a bacia marginal Sergipe-Alagoas (ARAÚJO et al., 2006; SANTOS, 2010).

Figura 1 – Localização da Enseada da Pajuçara



Fonte: Elaborado pelos Autores (2021), com dados vetoriais de IBGE (2020) e imagem WorldView (2019).

Em relação ao clima de ondas, o mesmo é direcionado entre Leste e Sudeste, tendo seu maior potencial de ação na última mencionada, atingindo uma altura média 1,5 metros, uma velocidade média 5,6 m/s e um período de 12 segundos, tendo um potencial hidráulico maior que as demais (SMC-Brasil, 2011), sendo assim o *trend* de ação motriz das dinâmicas geomorfológicas da enseada.

A área é fortemente condicionada pela presença de *beachrocks*, que de certa forma protegem a faixa de areia de ondas mais impactantes (SILVA e FERREIRA, 2017), mantendo uma estabilidade parcial das praias, entretanto não é suficiente para conter ocasionais inundações na orla associada, sobretudo pela ausência de uma vegetação protetora, que não se encontra presente na área a pelo menos 40 anos (LIMA, 2004; SILVA, et al. 2017). Inclusive as estruturas recifais encontradas na enseada possuem morfologia em crista e barreira, o que promove uma proteção intensiva a mesma, que de certa forma promove a manutenção de sua configuração, sobretudo ao intervir na propagação de ondas mais intensivas (Figura 2).

A dinâmica geomorfológica costeira da enseada foi amplamente analisada desde os trabalhos clássicos de Lima (1990) e mais recentemente por Lima (2004) e Silva et al. (2019). Os autores buscaram analisar e entender a dinâmica e resiliência da área e a emergência de processos erosivos. Na perspectiva do poder público, foram realizados estudos do panorama da erosão costeira de Alagoas realizado por Araújo et al. (2006). Ambas as esferas científicas e o poder público demonstram a necessidade de novos estudos que busquem atualizar o cenário costeiro da região.

A enseada e sua orla associada, figuram como um dos principais atrativos turísticos da capital de Alagoas, sendo, portanto, um dos principais atrativos turísticos da cidade, associado ao turismo de sol-praia como também o turismo gastronômico (VASCONCELOS et al., 2016; 2019).

Figura 2 – Recifes associados a Enseada da Pajuçara



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Procedimentos Metodológicos

A metodologia é segmentada em quatro etapas operacionais: levantamentos bibliográficos e cartográficos; processamento dos dados levantados; quantificação das variações; análise e construção dos resultados, elaboração do presente trabalho.

Foram levantados os principais estudos sobre a área de estudo e estudos sistemáticos sobre as temáticas de interesse, além dos principais dados que fundamentaram as principais discussões propostas pelo estudo. Quanto ao levantamento cartográfico, foram obtidas uma fotografia aérea Cruzeiro do Sul de Janeiro 1955 – 1:20.000, extraído de Lima (2004), que foi georreferenciada e corrigida através de uma imagem de Satélite *WorldView-3* de janeiro de 2020 – 1:2.000.

Os dados orbitais de 2020 foram obtidos já georreferenciados, com referência métricas do sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 24S e datum planimétrico padrão brasileiro, SIRGAS 2000 (EPSG 31985). Neste sentido, a imagem anteriormente citada serviu como base para correção geométrica da ortofoto de 1955, projetada por intermédio do software QGIS 3.14.

No referenciamento da imagem de 1955, foram utilizados pontos de controle (PCs) entre os dados georreferenciado (imagem de 2020) e o dado a se referenciar (ortofoto de 1955); para tal utilizou-se locais análogos similares nas duas imagens, onde foram coletados uma quantidade significativa de pontos. Foram coletados aproximadamente 2.000 pontos de controle, distribuídos ao longo da linha de costa, tendo em vista que se priorizou a precisão do georreferenciamento no entorno imediato da mesma na imagem matriz.

Na efetividade do georreferenciamento, foi obtido um erro quadrático médio inferior ao erro máximo permitido, o que corresponde aos erros decorrentes do graficismo da imagem, que ocasionalmente podem proporcionar deslocamentos e disparidade (JÚNIOR et al., 2006). Tendo como resolução final de 1:5.000, compatível com a resolução de 1 metro.

A partir da obtenção e processamento dos dados, ocorreu a delimitação das linhas de costa nas imagens, onde foi setorizado os limites entre sedimentos secos e molhados presentes. Para

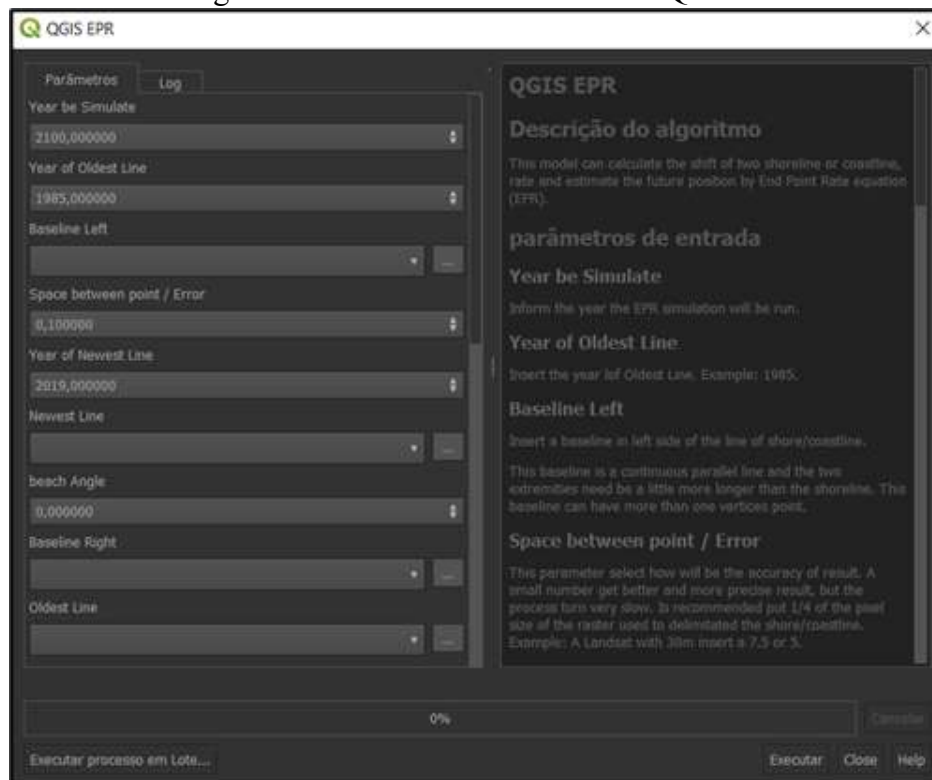
imagem de 1955, foi realizada a delimitação de forma manual, já para a imagem de 2020 foi realizada o cálculo do NDWI (*Normalized Difference Water Index*), através da divisão da soma e subtração da banda verde e infravermelho, permitindo a delimitação dos limites água e areia, setorizando o contato, que seria a linha de costa.

Para a quantificação das variações entre as linhas, foi utilizada a ferramenta EPR4Q 3.14, um modelo que utiliza o sistema de análise por transectos para o cálculo e projeção de linha de costa, semelhante a ferramenta DSAS construída para ArcMap (THIELER et al. 2009) e a AMBUR projetada para ambiente R (JACKSON, et al. 2012). O modelo representa uma alternativa efetiva destinada à iniciativa *open source*, uma vez que foi construído originalmente para o software de QGIS.

Para o cálculo das variações no modelo, foram utilizados os seguintes dados de entrada (Figura 3): duas linhas de base (uma interna e outra externa), especificamente o limite do continente e oceano; o ano a ser projetado, onde foi admitido o ano de 2025 buscado obter uma menor taxa de imprecisão na projeção, admitindo-se um grau de acertabilidade de 97,12%; duas linhas de costa (uma antiga e uma nova); espaçamento entre os transectos, onde foi considerado um espaçamento de 5 metros entre cada transecto, levando em consideração a precisão do produto de entrada; o ângulo da praia em planta, admitindo-se 53 graus, medido diretamente em ambiente de Sistema de Informações Geográficas. Vale mencionar que a técnica de projeção utilizada pelo modelo é baseada em regressão linear.

Após o fim do processo de quantificação das variações, foram construídos mapas específicos sobre as taxas de movimentações brutas e classificadas (Tabela 1) e as variações de áreas de progradação e retrogradação. Também foram exportados para planilhas eletrônicas os dados das taxas de variações anuais, as distâncias brutas entre as linhas e o resultado da projeção, tanto em distância como em área para a construção de gráficos.

Figura 3 – Interface do modelo EPR4Q 3.14.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 1 – Comportamento de variações classificadas.

Classes	Taxa de Movimentação (m/a)
Acresção Extrema	> 5 metros
Acresção Severa	5 até 3 metros
Acresção Intensa	3 até 1 metros
Acresção	1 até 0,5 metro
Estável	0,5 até -0,5 metro
Erosão	-0,5 até -1 metro
Erosão Intensa	-1 até -3 metros
Erosão Severa	-3 até -5 metros
Erosão Extrema	< - 5 metros

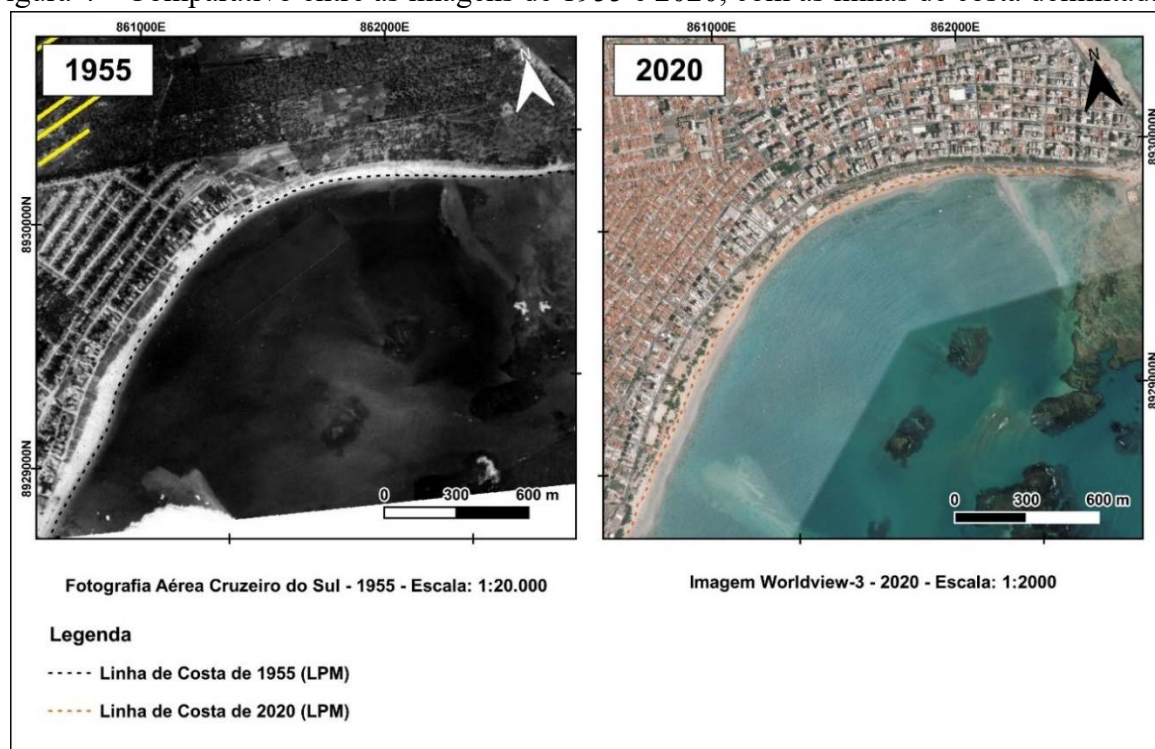
Fonte: Elaborado pelos autores (2021), construído com base em Esteves e Finkl (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das Variações

Analisando-se inicialmente a área, pode-se observar que morfologicamente a mesma uma geometria semi-côncava condicionada por sucessivas barreiras de arrecifes, que modelam seu formato. Essa configuração, mesmo diante décadas de uso das terras intensivo, permanece sem grandes alterações na enseada mesmo depois de 65 anos, como pode-se observar na Figura 4. As imagens representam os dois momentos analisados pelo método EPR, o antigo (1955) e o atual (2020).

Figura 4 – Comparativo entre as imagens de 1955 e 2020, com as linhas de costa delimitadas.

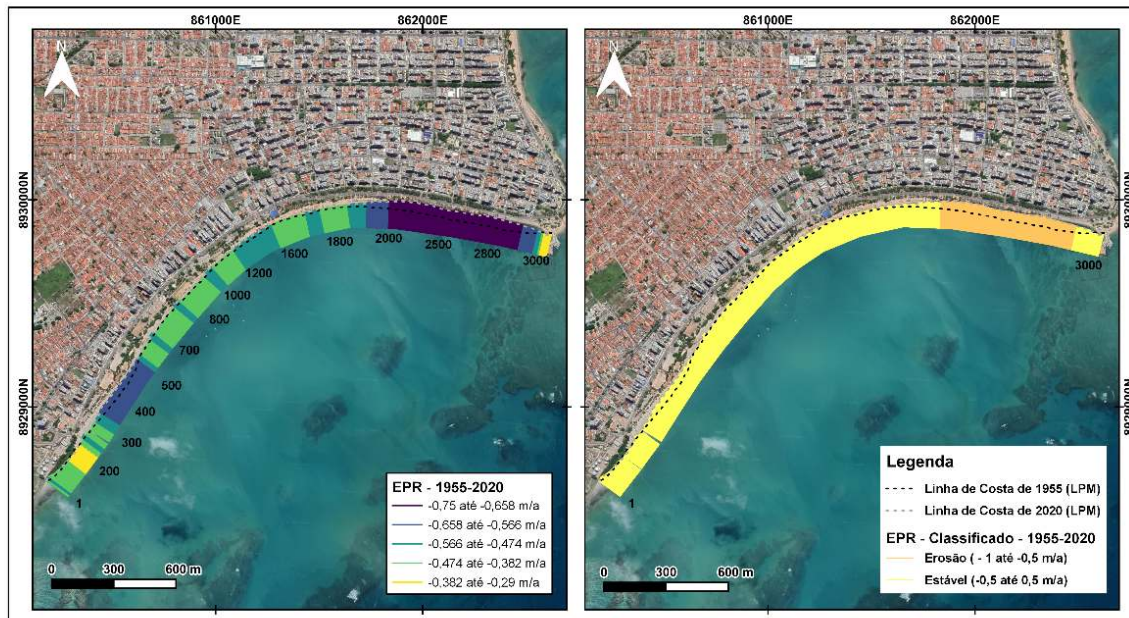


Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Lima (2004).

Em um comparativo entre 1955 e 2020, pode-se observar significativa distinção entre o cenário atual e o antigo, tendo-se um cenário totalmente inverso, onde as condicionantes temporais de uso e ocupação urbana impactaram de forma significativa a conjuntura das praias da enseada.

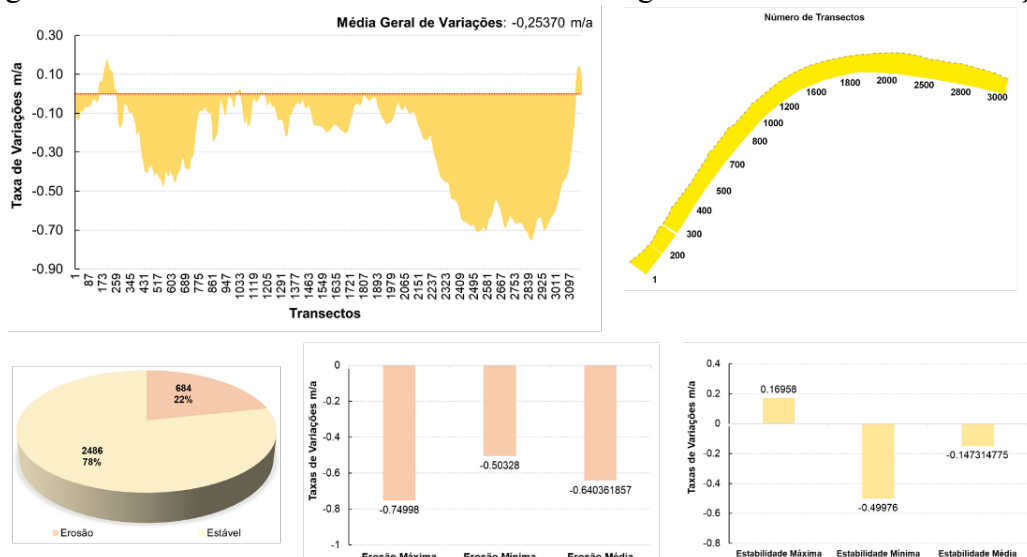
Comparando-se as linhas de costas extraídas dos dois momentos, foi possível mensurar os impactos das transformações na enseada, chegando às taxas de variações. Foram encontradas taxas de variações bastante semelhantes (Figura 5 e Figura 6), que apresentaram processos distintos de modelagem. Neste sentido foi encontrado em 80% da extensão da enseada processos de equilíbrio da linha de costa, tendo apenas em alguns setores específicos comportamentos de recuo, estes pequenos trechos estão associados sobretudo a compensação de areia erodida da Praia de Ponta Verde localizada no extremo norte após o “alagoinhas”. A causa dos processos de recuo ainda podem ser justificadas canalização de ondas barradas pelos recifes de arenito, próximos a enseada, que promovem a formação de pequenos *spits* ao ponto que propaga ondas com maiores potenciais hidráulicos nas porções mais a norte da enseada (Figura 7).

Figura 5 – Variações da linha de costa da enseada da Pajuçara, com o número respectivo dos transectos em numerais pretos, tanto parciais (mapa à direita) como totais (mapa à esquerda).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 6 – Parâmetros estatísticos analisados ao longo da enseada e sua classificação



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Figura 7 – Em detalhe pode-se observar as porções em erosão causadas por barramento. Percebe-se que a orientação de fluxo de ondas é semelhante ao padrão deposicional, podendo-se inferir que haja uma canalização de fluxo que retrabalhe de forma mais competente a porção norte da enseada.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Vale mencionar que parte das porções em erosão e acreção nas proximidades da Praia da Ponta Verde vem perdendo quantias consideráveis de areia, ocasionados pelos processos erosivos na Praia da Ponta Verde, como identificado por Soares, Silva e Ferreira (2019). Inclusive os autores identificaram trechos em erosão exatamente nas imediações do extremo norte da enseada, condicionado pela erosão lateral decorrente das correntes longitudinais (Figura 8).

A Enseada ainda obteve valor médio de $-0,253$ m/a, enquadra-se em um contexto de recorrência, este ainda teve máximo de variação superior a $0,17$ m/a e valor mínimo $-0,75$ m/a, com envelope de variações bastante próximo sem grandes distinções, o que demonstra uma similaridade nos processos ao longo da enseada.

As taxas permitiram a setorização de comportamentos das variações, classificados como estáveis em 78% dos transectos analisados (Porção Central e ao Sul da Enseada), com comportamentos entre $0,5$ e $-0,5$ metros por ano e 22% com comportamentos erosivos com variações entre $-0,5$ e -1 metros por ano. Entretanto, analisando os valores encontrados observa-se que a mesma apresenta 80% de valores equivalentes a processos de equilíbrio próximo a valores negativos, ou seja, houve mais recuo do que avanço.

As porções em estabilidade estão diretamente ligadas a presença de recifes em barreiras rígidas subsequentes, que representam o fator de estabilização da praia, tendo em vista que diminuem a amplitude hidráulica dos processos de transporte longitudinal.

As principais porções em erosão na enseada localizaram-se ao norte nas proximidades da Praia dos Sete Coqueiros. Esta porção já tinha sido identificada no trabalho de Lima (2004), identificando um ponto de erosão no mesmo setor setorizado por este trabalho, inclusive atualmente a Prefeitura Municipal tem tentado conter os problemas erosivos na área através da instalação de estruturas de enrocamento e *bagwall* (Figura 9), o que tem amortecido parcialmente os impactos das marés altas e as ondas de tempestade, mas a longo prazo as mesmas não têm resistido à aos processos abrasivos, resultando na desestruturação de calçadas e ciclovias.

Figura 8 – Em detalhe a Praia de Ponta Verde e sua relação com a enseada.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

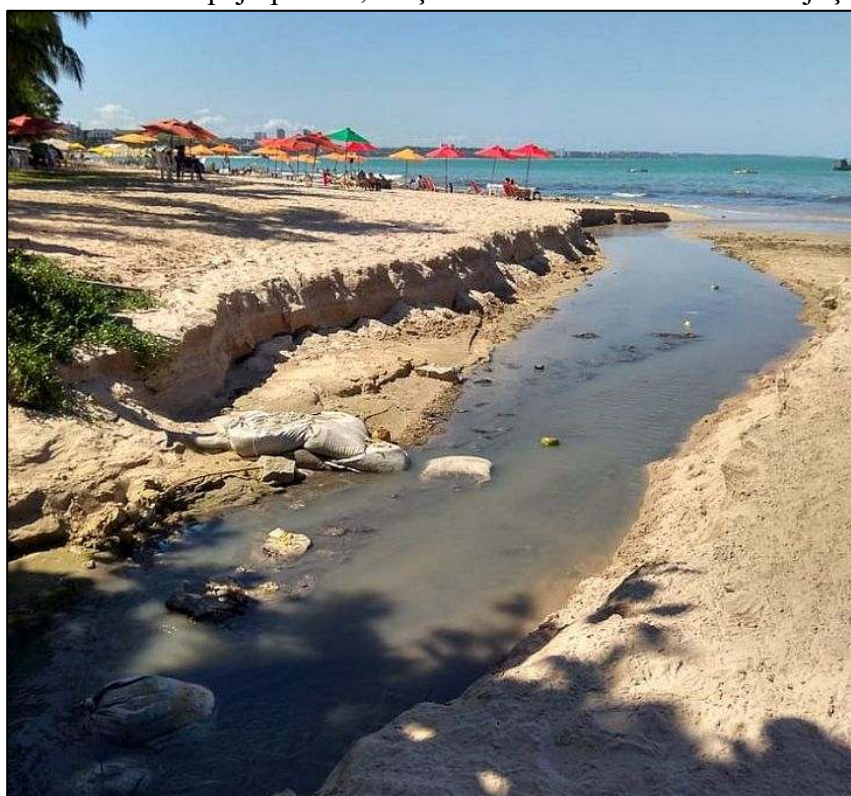
Figura 9 – Localidades com estruturas de contenção. A: *Bagwall* na Praia de Sete Coqueiro em 2020; B - Enrocamento no fim da Praia de Sete Coqueiros em 2019.



Fonte: Acervo dos autores (2019; 2021).

Outro ponto importante a se mencionar é a presença de diversas galerias de drenagem ao longo da enseada, sendo ao todo cinco, 4 na praia de Pajuçara e 1 na praia de Sete Coqueiros, sua função é drenar as águas urbanas de forma a conter alagamento em períodos chuvosos, entretanto, boa parte das galerias despejam efluentes ou mesmo esgoto (Figura 10) de forma irregular através de conexões clandestinas, afetando diretamente a balneabilidade da praia, além de influenciar a estabilidade a médio prazo da praia ao criar um leque de despejo que em períodos chuvosos canaliza as variações de marés, não só desestabilizando a praia como gerando enchentes e alagamentos. Na quantificação das variações foram encontrados aumentos expressivos na taxa de recuo na presença de galerias.

Figura 10 – Canaleta de despejo pluvial, lançando efluentes na Praia de Pajuçara em 2019.



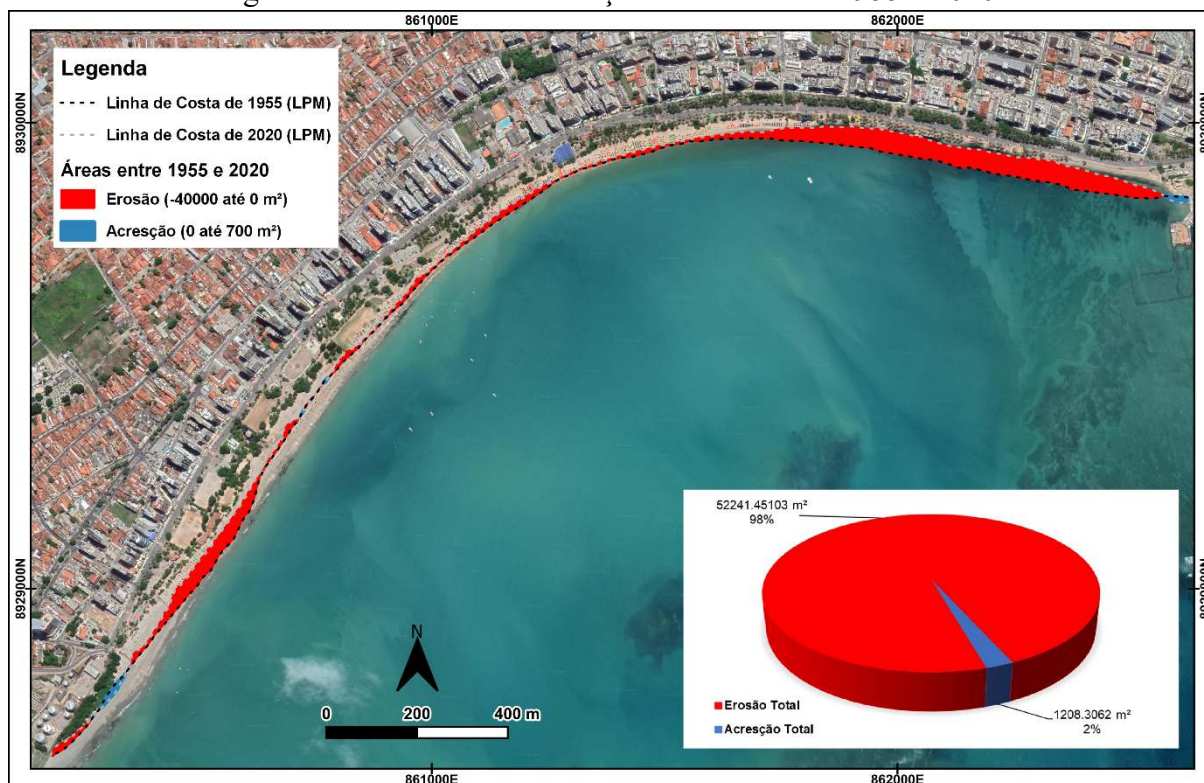
Fonte: Jornal das Alagoas (2019).

As porções em estabilidade, apesar de apresentarem taxa de recuo significativa, seguem resilientes. O ponto máximo de avanço da linha de costa, no extremo sul da enseada, esteve relacionado a presença de vegetação, que ajuda na contenção de impactos de ondas de tempestade e variações de marés em geral, devido ao seu alto grau de porosidade e presença de raízes adaptadas a substrato arenoso.

Com relação às variações de área (Figura 11), a enseada apresentou caráter misto, mesclando erosão e acresção ao longo de sua extensão, obtendo suas maiores taxas nos principais pontos de erosão anteriormente discutindo, onde chegou a perder aproximadamente 40.000 m² de faixa de areia, algo bastante significativo. Também foram encontrados em outras porções mais a sul processos de recuo com perda de aproximadamente 10.000 m², enquanto o ponto de maior acresção obteve 656 m² de adição de areia, estando relacionado a presença de vegetação. De modo geral a enseada apresentou-se em 98% de sua extensão com perda de área, somando um total de 52.241 m² e em apenas 2% ganho de área com 1.208 m². As variações médias de áreas erodidas apresentaram aproximadamente 6.530 m² e uma taxa média de acresção de aproximadamente 151 m².

Ao se analisar os dados obtidos observou-se que as atividades humanas desenvolvidas desde 1955 até atualmente seja ela o estabelecimento de moradias ou o desenvolvimento do turismo, impactou de forma significativa o contexto de resiliência da Enseada, que passou e vem passando por sucessivos processos erosivos que tornam-se insolucionáveis sem um plano específico de gestão costeira, tendo em vista que tais processos irão ocorrer novamente enquanto não houver soluções eficazes no ordenamento destas áreas, mas em um caráter positivo pode-se citar os trabalhos da gerenciamento e planejamento.

Figura 11 – Sumário das variações de área entre 1955 e 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Projeções Futuras

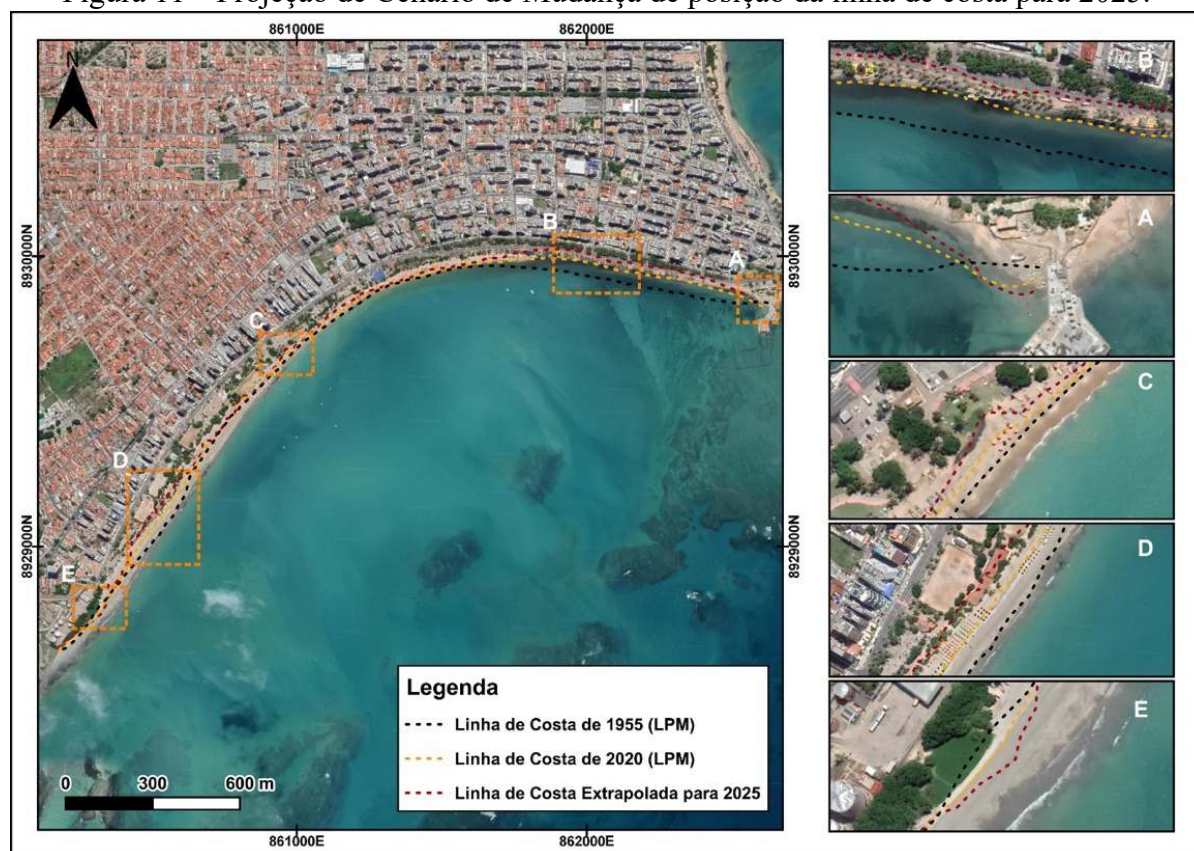
Na projeção do cenário de mudança de posição da linha de costa para 2025 foi possível extrapolar a posição da linha de costa e setorizar zonas de possíveis impactos na praia e na orla. Nisso a linha de costa de 2025 se seguir a tendência de recuo identificada no período analisado, que possui uma probabilidade de recorrência pequena, ocasionará avanço sobre as estruturas da orla, como rodovias, ciclovias, além de partes da faixa de areia, concentrando-se justamente em áreas sem pós-praia com estruturas de contenção e/ou sem vegetação protetora (Figura 12B e D), além de áreas de galerias pluviais (Figura 12C), onde o recuo da linha de costa resultará impactos significativos.

Algumas porções protegidas por vegetação e/ou com carga de sedimentos constantes com comportamento equilibrado terão significativos avanço (Figura 12A e E) que podem promover o surgimento de pequenos bancos de areia submersos.

Mediante a projeção estatística linear para 2025, ocorreram impactos acumulados bastante destrutivos analisando-se desde 1955, podendo acentuar os processos erosivos já emergentes na área. Comprometendo a estabilidade das estruturas de contenção e trazendo o agravamento da destruição de estruturas viárias e turísticas presentes na área.

Mesmo sem considerar a projeção, o cenário atual das porções em erosão da enseada é bastante preocupante, onde sua solução necessitará de políticas de gestão efetivas, que promovam o reordenamento destas áreas, que não necessitam ocorrer de forma imediata, podendo existir a longo prazo, através de estudos de monitoramento de engorda de praia ou a instalação de estruturas de contenções efetivas, adequadas ao contexto da área como *sandbags* e tubos porosidade, desde que haja monitoramento de sua eficácias. Entretanto, para a realização, necessitará de esforços da gestão municipal e estadual, como ocorreu em 1970 como o plano de urbanização da orla, que se efetivo prevenirá possíveis impactos nas receitas provenientes do turismo, primordial para gestão municipal e estadual.

Figura 11 – Projeção de Cenário de Mudança de posição da linha de costa para 2025.



Fonte: autores (2021).

Uma solução possível e viável para o cenário erosivo da Enseada, seria a realização de uma engorda praial, um processo bastante efetivo com experiências comprovadas nos estados de Pernambuco e Ceará, inclusive os custos não seriam tão elevados, uma vez que a engorda ocorreria apenas nas porções em erosão, que não teriam grandes empecilhos em permanecer na enseada, pois a mesma é relativamente protegida.

CONCLUSÃO

O presente estudo buscou contribuir com a caracterização e setorização dos processos erosivos na enseada da Pajuçara, uma área historicamente afetada pela falta de planejamento e ordenamento efetivos das formas de uso e ocupação. Tendo como objetivo, contribuir com estratégias de planejamento e gestão costeira ao construir bases de dados em escala de detalhe sobre uma região tão intimamente ligada à história da ocupação e construção cultural da capital do estado de Alagoas.

A metodologia foi sustentada no uso de ferramentas open source de geoprocessamento e sensoriamento remoto, além de ferramentas gratuitas de análise e projeção de linhas de costa, possibilitaram a identificação dos processos erosivos da Enseada, além da delimitação das relações de processo-resposta. A sequência metodológica realizada pelo presente estudo foi testada em diversas regiões do Brasil, com resultados positivos, mostrando-se bastante promissora na área estudada, passível de aplicações em outras áreas.

Os resultados mostraram que a expansão urbana na enseada e o desenvolvimento do turismo sem respeito a capacidade de carga e dinâmicas naturais locais, impactaram de forma negativa sua estrutura, onde realizando um comparativo entre as variações das linhas de costa de 1955 e 2020 foi possível identificar taxas anuais entre -0,75 e 0,17, predominando comportamentos estáveis em 78% da praia, entretanto com predominância de valores negativos, inseridos na Praia de Pajuçara, ainda apresentou 22% de sua extensão com cenários erosivos, setorizados na Praia dos Sete Coqueiros, onde ocorreram as principais transformações urbanas. Tal balanço de variação entre 1955-2020 resultou em uma redução da área da praia de aproximadamente 40.000 m² e acréscimo de área de 1.200 m². Estes processos se repetidos a longo prazo poderão agravar os danos à estrutura física da orla.

Os dados produzidos pelo presente estudo representam experimentações metodológicas utilizando dados e ferramentas open source, para contexto de uma enseada urbanizada, que se integrados a estratégias de planejamento e gestão pelo Poder Público podem contribuir um melhor entendimento e controle destas áreas, de forma a prevenir ou mesmo mitigar possíveis danos ocasionais de processos erosivos, entretanto sua efetivação necessitará de diálogos entre profissionais capacitados e poder público.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2001.
- ANDERS, F. J.; BYRNES, M. R. Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial photographs. **Shore And Beach**, nº59, v.1, 17-26, 1991.
- ARAÚJO, T. C. M.; SANTOS, R. C. A. L.; SEONE, J. C. S.; MANSO, V. A.V. Erosão e Progradação no litoral de Alagoas. In: MUEHE, D. **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente do Brasil, 2006.
- BASIOUNY, M; KAFRAWY, S; GHANEM, E; TAHA, A. Shoreline Change Rate Detection and Future Prediction Using Remote Sensing and GIS Techniques: a case study of ras el-hekma, north western coast, egypt. **Journal Of Geography, Environment And Earth Science International**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 1-14, 10 jan. 2017.
<http://dx.doi.org/10.9734/jgeesi/2017/32086>.
- BERGER, A. R. Introduction to Geoindicator Checklist. In: BERGER, A.; IAM, W. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 383-457, 1996.
- BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2008. 436p.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**, vol. 21, nº 4, 2005. DOI:10.2112/03-0071.1.

BONETTI, J.; RUDORFF, F. M.; CAMPOS, A. V.; SERAFIM, M. B. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. **Ocean & Coastal Management**, [S.L.], v. 156, p. 198-208, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.009>.

CASELLA, E.; DRECHSEL, J.; WINTER, C.; BENNINGHOFF, M.; ROVERE, A. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 255-268, 23 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P.; BUCKLEY, M. K. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. **Journal of Coastal Research**, n° 7, v 3, p. 839-852, 1991.

DAVIS, R. A., Evolution of coastal landforms. In: SHRODER, J. (Org.), SHERMAN, D.J. (Ed.), **Treatise on Geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA, vol. 10, Coastal Geomorphology, 2013. pp. 417–448.

DEABES, E. A. M. Applying ArcGIS to Estimate the Rates of Shoreline and Back-Shore Area Changes along the Nile Delta Coast, Egypt. **International Journal Of Geosciences**, [S.L.], v. 08, n. 03, p. 332-348, 2017. Scientific Research Publishing, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2017.83017>.

ESTEVEZ, L. S.; FINKL, C. W. The problem of critically eroded areas (CEA): An Evaluation of Florida Beaches. **Journal of Coastal Research**. v. 26, ,11-18, 1998.

GALGANO, F. A.; DOUGLAS, B. C.; LEATHERMAN, S. P. Trends and variability of shoreline position. **Journal of Coastal Research**, p. 282-291, 1998.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruma e Imbituba, SC**. 439f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1993.

GHADERI, D.; RAHBANI, M. Detecting shoreline change employing remote sensing images (Case study: Beris Port-east of Chabahar, Iran). **International Journal of Coastal and Offshore Engineering**, v. 3, n. 4, p. 1-8, 2020. Doi: <http://doi.org/10.29252/ijcoe.3.4.1>.

JACKSON, C. W.; ALEXANDER, C. R.; BUSH, D. M. Application of the AMBUR R package for spatio-temporal analysis of shoreline change: jekyll island, georgia, usa. **Computers & Geosciences**, [S.L.], v. 41, p. 199-207, abr. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.009>.

JORNAL DAS ALAGOAS. **CASAL é autuada por lançamento de esgoto na praia da Pajuçara**. 2019. Disponível em: <https://www.jornaldasalagoas.com.br/2019/09/27/casal-e-autuada-por-lancamento-de-esgoto-na-praia-da-ponta-verde/>. Acesso em: 23 fev. 2021.

JÚNIOR, J. B. T.; OUVENEY, M. I. M.; UBERT, M. S.; ANTUNES, M. A. H. Avaliação de imagens Ikonos II e QuickBird para obtenção de bases cartográficas para cadastro técnico

municipal. In: **Anais do congresso brasileiro de cadastro técnico multifinalitário, Florianópolis**, UFSC, 2006.

LEATHERMAN, S. Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. **Journal of Coastal Research**, nº1, v. 38, 5-13, 2003.

LEE, J.; PARK, J.; CHOI, J. Evaluation of Sub-aerial Topographic Surveying Techniques Using Total Station and RTK-GPS for Applications in Macrotidal Sand Beach Environment. **Journal Of Coastal Research**, [S.L.], v. 65, p. 535-540, 2 jan. 2013. Coastal Education and Research Foundation. <http://dx.doi.org/10.2112/si65-091.1>.

LIMA, I. F. **Maceió, a cidade restinga**: contribuição ao estudo geomorfológico do litoral alagoano. Maceió-AL: EDUFAL, 1990. 96p.

LIMA, L. T.; BERNARDES, C.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, S. **EPR4Q - End Point Rate for QGIS**. Versão 3.4., 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4511400>. Acesso em: 23/02/2021.

LIMA, L. T.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, S.; ESPINOZA, J. M. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; BERNARDES, C. End Point Rate Tool for QGIS (EPR4Q): validation using dsas and ambur. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 162-185, 12 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi10030162>.

LIMA, R. C. A. **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**, 2004. 176f. Tese (Doutorado em Geociências), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2004.

MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; GONÇALVES, R. M. Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, nº17, v.3, 2016. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i3.854>.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A, J.T. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro-BR: Bertrand Brasil, 2002. 474p.

MUEHE, D. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista Brasileira de Oceanografia**, nº46, v.6, 157-169, 1998.

MUEHE, D. Erosão costeira –tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e cabo Frio, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, nº11, v.3, 2011. p.315-325.

SEBAT, M.; SALLOUM, J. Estimate the rate of shoreline change using the statistical analysis technique (EPR). **Business & It**, [S.L.], v. , n. 1, p. 59-65, 2018. Czech Technical University in Prague - Central Library. <http://dx.doi.org/10.14311/bit.2018.01.07>.

SANTOS, A. N. **A Dinâmica costeira e seus efeitos sobre a ocupação urbana na orla marítima do estado de Alagoas**. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2010.

SILVA, C. F. A.; FERREIRA, B.; BARRETO, E. P.; GREGORIO, M. N.; MANSO, V. A. V.; CANDEIAS, A. L. B.; MELO, W. D. A. Índices de vulnerabilidade à erosão das praias da Ilha de Itamaracá, litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Investigaciones Geográficas**, v. 0, p. 71-82, 2016. doi:10.5354/0719-5370.2016.44619.

SILVA, A. M.; LIMA, F. E. G. Q.; FRITSCHER, J. M.; OLIVEIRA, R. C. B. Área de Exclusão da Enseada da Pajuçara, Alagoas, Brasil. **AmbientalAL**, Maceió, v.1, n.1.p.23-37, 2017.

SILVA, T. C. L.; FERREIRA, B. Levantamento dos principais aspectos da geodiversidade do município de Maceió, estado de Alagoas, nordeste do Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.L.], p. 3231-3241, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1978>.

SILVA, T. C. L.; SOARES, M. A.; FERREIRA, B. Análise morfodinâmica da praia de Pajuçara de 2002 a 2018, Maceió-AL, Nordeste do Brasil. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e mudanças globais**. Fortaleza-CE: Editora UFC, 1648- 1658, 2019.

SIMÕES, R. S.; OLIVEIRA, U. R. Monitoramento mensal da linha de costa no Balneário Mostardense-RS entre 2016/2017 utilizando dados de VANT. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 11, n. 1, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v11i1.65729>.

SOARES, M. A.; SILVA, T. C. L.; FERREIRA, B. Erosão Costeira na Praia de Ponta Verde, Maceió-AL. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e mudanças globais**. Fortaleza-CE: Editora UFC, 1648- 1658, 2019.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: EdgardBlucher, 2007. 570p.

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; MILLER, T. L. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. in: **ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change**: U.S. Geological Survey Open-file Report 1304, 2009. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>.

TO, D. V.; THAO, P. T. P. A Shoreline Analysis using DSAS in Nam Dinh Coastal Area. **International Journal of Geoinformatics**, v. 4, n. 1, 2008.

VASCONCELOS, D. A. L.; ARAUJO, L. M.; RAMOS, S. P. Turismo de sol e mar e a territorialização do destino Maceió, Brasil. Pasos. **Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 695-708, 2019. <http://dx.doi.org/10.25145/j.pasos.2019.17.049>.

VASCONCELOS, D. A. L.; ARAUJO, L. M.; RAMOS, S. P. Evolução histórica do destino turístico Maceió-Alagoas-Brasil: de antecedentes à atual situação. **Revista Iberoamericana de Turismo (Ritur)**, [S.L.], n. 6, p. 139-164, 2016. Universitat de Girona-Universidade de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.2436/20.8070.01.28>.

ZAGÓRSKI, P.; JAROSZ, K.; SUPERSON, J. Integrated assessment of shoreline change along the Calypsostranda (Svalbard) from remote sensing, field survey and GIS. **Marine Geodesy**, v. 43, n. 5, p. 433-471, 2020. <https://doi.org/10.1080/01490419.2020.1715516>.