

MORFODINÂMICA DO COMPLEXO ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA - CELMM, LITORAL SUL DE ALAGOAS

Morphodynamics of the Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba - CELMM, south coast of Alagoas

Bruno Ferreira

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

bruno.ferreira@igdema.ufal.br

João Pedro Luiz Santos da Silva

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

joaopedroluiz007@gmail.com

Thiago Cavalcante Lis Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

thiago0_lins@hotmail.com

Mikael Ferreira

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

mikael.ferreira@igdema.ufal.br

Sthefany Vitória de Carvalho Venâncio

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

sthefany.venancio@igdema.ufal.br

Recebido: 09/05/2024

Aceito: 08/07/2024

Resumo

Os ambientes costeiros configuram-se como alguns dos mais dinâmicos existentes, sujeitos a interação de processos oceânicos, continentais e atmosféricos. Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo apresentar a análise da evolução morfológica da desembocadura do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), Litoral Sul de Alagoas. Para tal, foi empregada uma metodologia de baixo custo, baseada no uso de softwares livres e dados abertos, para realização do mapeamento geomorfológico das feições costeiras, a partir da delimitação da linha de sedimentos secos e molhados. Foi observado que a área, nos últimos 20 anos, tem passado por processos morfodinâmicos intensos, o que acarreta a remobilização de sedimentos e, conseqüente, reafeição de suas morfologias, demonstrando a efemeridade dos relevos costeiros e a necessidade de sua conservação e planejamento das formas de ocupação uso das terras nessas áreas.

Palavras-chave: Geomorfologia, Desembocadura, Morfodinâmica costeira

Abstract

The coastal reliefs are dynamic and subject to the interaction of oceanic, continental, and atmospheric processes. In this context, the present study aims to analyse the morphological evolution of the mouth of the Complexo Estuarine LagunarMundaú-Manguaba (CELMM), located on the South Coast of Alagoas. A low-cost methodology based on free software and data was used. It was observed that the area, in the last 20

years, has undergone intense morphodynamic processes, leading to the remobilisation of sediments and, consequently, a change in their morphologies, demonstrating the impermanence of coastal reliefs and the need for their conservation and planning of forms of occupation and use of land in these areas.

Keywords: Geomorphology, Outlet, Coastal Morphodynamics.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros podem ser considerados alguns dos mais importantes existentes em todo o Globo. Em sua área desenvolvem-se uma série de ecossistemas, feições geomorfológicas e desde que o Homem evoluiu e iniciou sistematicamente a se apropriar do espaço, ocupando e transformando, estes ambientes têm figurado enquanto área preferencial para seu estabelecimento, onde apresentam atividades econômicas e culturais (Ab'Saber, 2000; SOUZA *et al.*, 2005).

A literatura especializada a muito já estabeleceu o caráter sensível dos ambientes costeiros (SOUZA *et al.*, 2005; Silva; Suski, 2021; Rabelo, 2022; Pereira; Pereira, 2023). Observa-se que neles suas características dependem e são decorrentes de um equilíbrio dinâmico altamente delicado resultado da interação entre o clima, o continente e o oceano (Ab'Saber, 2000) e nós últimos anos estabeleceu-se o caráter antrópico enquanto agente capaz de alterar as diversas morfologias dos ambientes costeiros através de intervenções diretas ou indiretas no ambiente (Souza *et al.*, 2005; Pagán *et al.*, 2020; Fernandez-Hernandez *et al.*, 2023; Pereira; Pereira, 2023; Portz *et al.* 2024).

Nesse contexto, verifica-se que as alterações ambientais que ocorrem em ecossistemas costeiros desenvolvem-se em intervalos temporais que podem ser considerados muito curtos, podendo ser registradas alterações morfológicas significativas em intervalos temporais inferiores a 20 anos, resultado sobretudo da interferência antrópica, mas também da própria dinâmica ambiental (Souza *et al.*, 2005; Cassiano; Siegle, 2010; Santos, 2021).

Diversos fenômenos se relacionam com a alteração das morfologias observadas em ambientes costeiros. Entre os fatores naturais pode-se destacar o aporte sedimentar, deriva litorânea, amplitude de maré, presença de vegetação, direção do *trend* de ondas e outros condicionantes, os quais alteram o balanço sedimentar, ora possibilitando a progradação da linha de costa, alargando as planícies costeiras, ora, retirando material e levando a retrogradação da linha de costa. Entre os fatores humanos pode-se citar as intervenções em canais fluviais, obras de contenção a processos erosivos que interajam

diretamente com a deriva litorânea, mas destacam-se as formas de uso e ocupação das terras (Ab'Saber, 2000; Souza, 2005).

A análise da evolução de ambientes costeiros está intimamente ligada ao processo evolutivo da paisagem, onde ocorrem as interações entre elementos bióticos, abióticos e antrópicos. Nessa condição, o uso do sensoriamento remoto, tem se mostrado uma das principais ferramentas para análise da costa e evolução de suas morfologias, sendo empregada em análises relativas as formas de uso, ocupação e ordenamento territorial, vulnerabilidade a erosão costeira e transformação da paisagem em função delas, mudanças e alterações de morfologias, entre outras aplicações (MOREIRA *et al.*, 2014; Araújo; Fonseca, 2016; Santos, 2021).

As variações glacio-eustáticas do Quaternário, com mudanças expressivas nas taxas de deposição sedimentar, progradações e retrogradações das linhas de costa, deram origem as planícies costeiras do Litoral de Alagoas. Nesse contexto, a área de estudo compreende a desembocadura do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), um dos maiores complexos estuarinos lagunares do País, onde ocorre a confluência dos canais das lagunas Mundaú e Manguaba, configurando-se como uma das áreas mais dinâmicas do Estado de Alagoas no que se refere a fenômenos físicos e humanos (Guimarães Júnior, 2018; Silva; Ferreira, 2021).

A desembocadura estudada apresenta características ambientais que a levam a apresentar efemeridade de suas formas, delicado equilíbrio dinâmico, com influências oriundas do fluxo dos canais, aporte sedimentar, regimes de chuvas e maré, entre outras variáveis (Pinheiro *et al.*, 2021). Outro fator de influência é o tipo de ocupação da área, formada inicialmente por comunidades carentes e gradativamente sendo substituída nos últimos anos por segundas residências, casas de veraneio, e condomínios de classe média nas margens dos canais das lagunas e Ilha de Santa Rita (Cruz, 2019).

Assim, o presente estudo propõe-se a apresentar as transformações morfodinâmica dos últimos 20 anos registradas nas morfologias da desembocadura do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú Manguaba, em específico as relacionadas a dinâmica de seus pontais arenosos, barras arenosas e ilhas, visando descrever sua evolução geomorfológica e a sucessão de paisagens dela derivadas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a desembocadura do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) onde convergem os canais das lagunas Mundaú e

Manguaba. O CELMM constitui o maior complexo estuarino do estado de Alagoas e o quinto maior do Brasil (Lima, 1998), distribuído, em maior ou menor grau, em porções territoriais de 7 municípios de Alagoas, que são Maceió, Marechal Deodoro, Rio Largo, Satuba, Pilar, Coqueiro Seco e Santa Luzia do Norte (Figura 1).

O CELMM, representa um ambiente com grande variedade de paisagens naturais (mangues, várzeas, ilhas, canais) que somados à diversidade biológica e importância econômica, social e cultural decorrentes das diversas atividades que ocorrem dentro de seus limites o tornam um dos ambientes mais importantes do Estado, intimamente ligado à sua construção histórica e cultural (Cruz, 2019).

Quanto a hidrografia, desaguam no Complexo Estuarino seis bacias hidrográficas, sendo elas a bacias dos rios Sumaúma, Estivas, Remédios, Riacho do Silva, Mundaú e Paraíba do Meio, que juntas somam uma área de cerca de 4.600 quilômetros quadrados, onde se destacam as duas maiores lagoas do Estado a Mundaú e a Manguaba, com áreas aproximadamente de 39,3 e 48,4 km², respectivamente, cujos canais confluem e deságuam no oceano Atlântico em um mesmo ponto, cuja desembocadura apresenta uma extensão de aproximadamente 2 quilômetros e localiza-se no limite entre Maceió e Marechal Deodoro (Silva *et al.*, 2023).

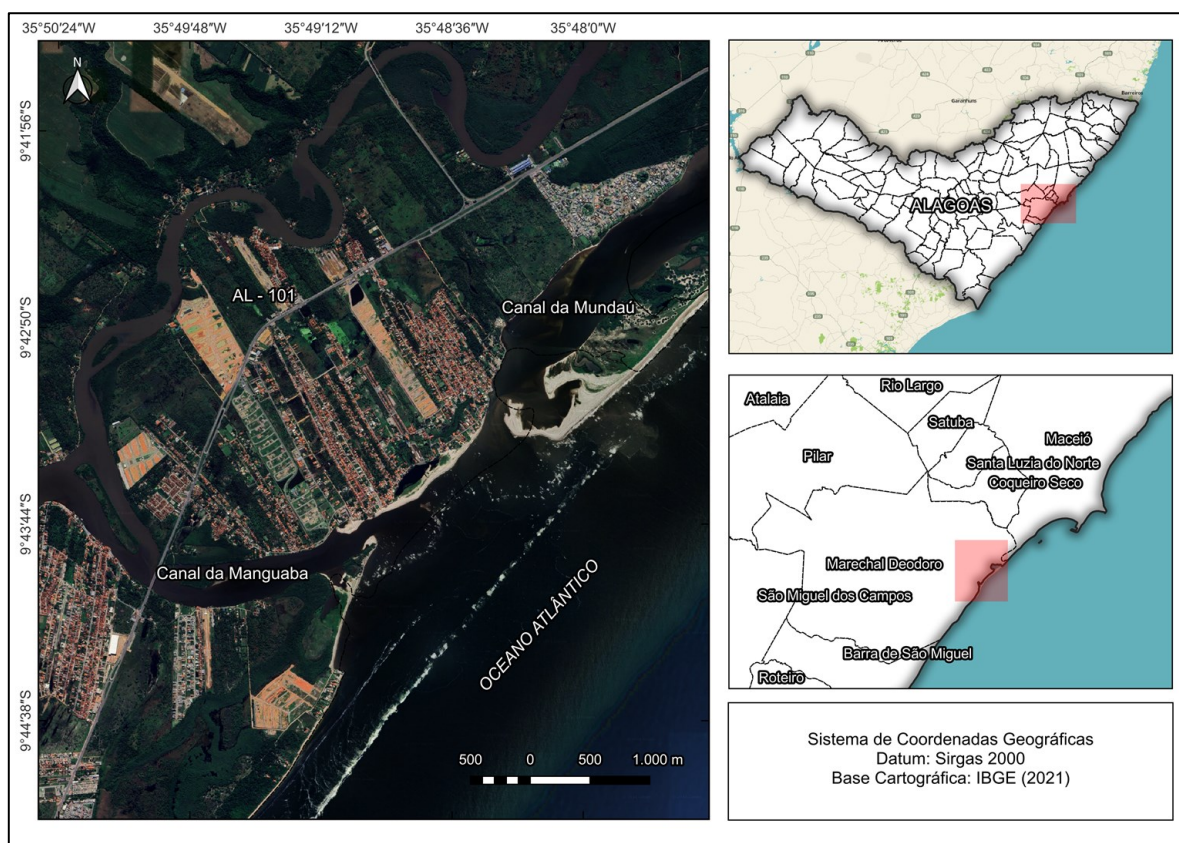


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo - Desembocadura do CELMM.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

De acordo com Bezerra (2020), o clima da área configura-se como do tipo Tropical Quente-Úmido, As' de acordo com a classificação climática de Köppen, caracterizado por um verão seco e concentração da precipitação pluviométrica nos meses de outono e inverno e que variam em torno de 1.200 e 1.800 mm ao ano cuja temperatura oscila entre 25° C no inverno e 29° C no verão.

Geologicamente, de acordo com Lima (2004), a área faz parte da Bacia Sedimentar de Alagoas, onde se inserem os domínios geológicos da Formação Barreiras e dos sedimentos quaternários que formam a planície costeira. A porção central do CELMM apresenta uma série de feições morfológicas resultado do afogamento decorrente da evolução paleogeográfica quaternária, com destaque para o afogamento de antigos vales e estuários que originaram as lagunas e seus canais atuais. Destacam-se as faixas arenosas quartzosas que deram origem aos pontais da Praia do Saco (Marechal Deodoro) e Pontal da Barra (Maceió) e bancos arenosos, conjuntos responsáveis pelas alterações morfológicas que ocorrem na área da Desembocadura.

A costa de Alagoas é do tipo meso-maré, com duas marés altas e duas baixas num período de 24 horas, dominadas por onda e com influência de ventos oriundos de E-SE no inverno e N-NE no verão e uma amplitude média de maré que varia entre 0,9 e 2,4 metros (Lima, 2004). Nesse contexto destaca-se que a área de estudo apresenta um alto grau de vulnerabilidade, naquilo que se refere ao impacto de marés meteorológicas e ressacas que intensificam a energia potencial das ondas, sua altura e seus impactos de modo que podem acelerar a alteração das morfologias presentes, quanto nos impactos ambientais causados.

Além dos pontais arenosos, verifica-se que a área possui beach rocks, geralmente expostos durante a baixa mar, elementos que ocorrem em grande parte do litoral alagoano, compostos, por arenitos calcíferos, intercalados por lentes de conglomerados e níveis fossilíferos, conchas de moluscos. Essas morfologias distribuem-se paralelamente a linha de costa, na forma de franjas e muros, na porção sul da área, nas praias do Pontal da Barra e do Saco, funcionando como dissipadores da energia potencial das ondas que atingem essa porção da costa (Santos, 2004).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As análises do processo evolutivo morfodinâmico dos pontais e demais elementos morfológicos presentes na área de estudo se deram através da utilização e processamento de dados em três softwares de uso livre, o Google Earth Pro, o QGIS

versão 3.28 Firenze (Long Term Release) e o Libre Office 7.3. e pode ser descrita a partir de duas etapas a seguir.

A primeira etapa compreendeu a criação do banco de dados e vetorização das feições observadas ao longo do período de 2002 a 2022. Nela o Google Earth Pro representou a principal fonte dos dados através da utilização da ferramenta “imagens históricas” que possibilitou o acesso a 19 imagens que foram utilizadas para descrição da evolução morfológica da desembocadura do CELMM.

O método para análise da evolução morfológica se deu através da delimitação da linha de costa, contato entre sedimentos secos e molhados presentes nas áreas analisadas de modo a cobrir todas as feições (Muehe, 2020). A ação foi executada no software Google Earth Pro, o qual permite a vetorização em tela através da ferramenta “adicionar caminho” que possibilita a criação e exportação de arquivos vetoriais em formato .kml, identificado e separado por data e elemento a qual representava.

O método empregado tomou por base os estudos de Batista, Vieira e Marinho (2019), Petek *et al.* (2023) e a revisão de literatura realizada por Vieira e Frota Filho (2023) que discorreram sobre seu uso na análise do processo evolutivo de voçorocas encontradas em municípios do Amazonas e Maranhão e concluíram que seu uso é efetivo naquilo que se refere ao mapeamento do processo evolutivo de feições destacando o baixo custo de acesso aos dados, alta resolução das imagens e versatilidade; nesse contexto, a ressalvas quanto a seu uso concentram-se na inconsistência do mosaico de imagens gerada pela plataforma que pode influenciar na posição dos elementos mapeados, inconsistência na resolução temporal das imagens e incapacidade de alterar os datums e projeções sendo empregada a Projeção Equatorial Cilíndrica, usada como padrão, mas que não acabam por representar impedimento significativo a análise morfológica da evolução de feições, ou o estabelecimento de medidas quantitativas básicas como área e distância sendo, entretanto, um impedimento ao adentrar em estudos morfométricos de alta precisão (Tooth, 2013).

A segunda etapa metodológica ocorreu em ambiente SIG (utilizando o QGIS versão 3.28) e compreendeu a manipulação do banco de dados criado anteriormente. Nela, os arquivos .kml foram convertidos para formato .shp (shapefile) e então desmembrados para que a análise individual dos elementos fosse realizada, que compreendeu a área (m²) e a extensão longitudinal das feições (m) além da foto interpretação da evolução morfológica no intervalo temporal observado.

Uma vez que os produtos gerados com utilização do Google Earth Pro foram linhas que percorriam o ambiente estudado, o cálculo da área foi realizado através da transformação das linhas em polígonos, através das ferramentas nativas do software QGIS, e, uma vez criados os polígonos, os dados compatíveis com a metodologia empregada foram extraídos. Criados os polígonos e determinadas as áreas, a última etapa do trabalho correspondeu a sistematização dos dados através da utilização do software Libre Office de modo a tornar possível a elaboração de gráficos e tabulação dos dados. Por fim, o QGIS, foi, então, utilizado para a elaboração dos produtos cartográficos que serão apresentados.

De modo a ordenar a análise, a área de estudo foi segmentada em três parcelas menores, cada uma compreendendo a uma feição analisada: Área 1 - Pontal da Barra, ao norte, Área 2 – Massagueira, ao sul e Área 3 - Ilha de Santa Rita, porção central. O conjunto dessas áreas compreende a desembocadura do CELMM, englobando os municípios de Maceió ao norte e Marechal Deodoro ao centro e sul (Figura 2).



Figura 2 - Áreas estudadas, 1, 2 e 3.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais elementos da área de estudo são os pontais arenosos presentes na desembocadura do Sistema Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, distribuídos paralelamente à linha de costa. Segundo os dados observados no estudo, essas feições morfológicas sofrem influência de elementos relacionados à dinâmica costeira como os ventos, sistemas de ondas, variações e ciclos de marés, além do aporte sedimentar continental e balanço hídrico regional (Pinheiro *et al.*, 2021).

A combinação de elementos e processos atuantes no balanço morfodinâmicos local resulta em paisagens onde os pontais, linhas de costas e demais elementos componentes da região apresentam grande movimentação, variações sazonais diárias, semanais, mensais e anuais, ou seja, trata-se de um setor da região costeira de grande dinamismo geomorfológico (Figura 3). Desse modo, em variadas escalas temporais e de área, essas morfologias apresentam alto grau de efemeridade, especialmente quando analisa-se intervalos temporais maiores.



Figura 3 - Vista aérea da desembocadura do CELMM.

Fonte: Acervo dos autores, 2024.

4.1. Área 1 - Pontal Da Barra

A Área 1, compreende a praia do Pontal da Barra, em bairro homônimo. Essa porção foi analisada por Lima (2004), que identificou uma tendência de aumento no valor de sua área, com base em uma análise feita a partir de imagens aéreas dos anos de

1965, 1977, 1982, 1990 e 2000, ao mesmo tempo em que identificou que esse aumento também se refletia no que diz respeito à sua extensão longitudinal (Figura 4).

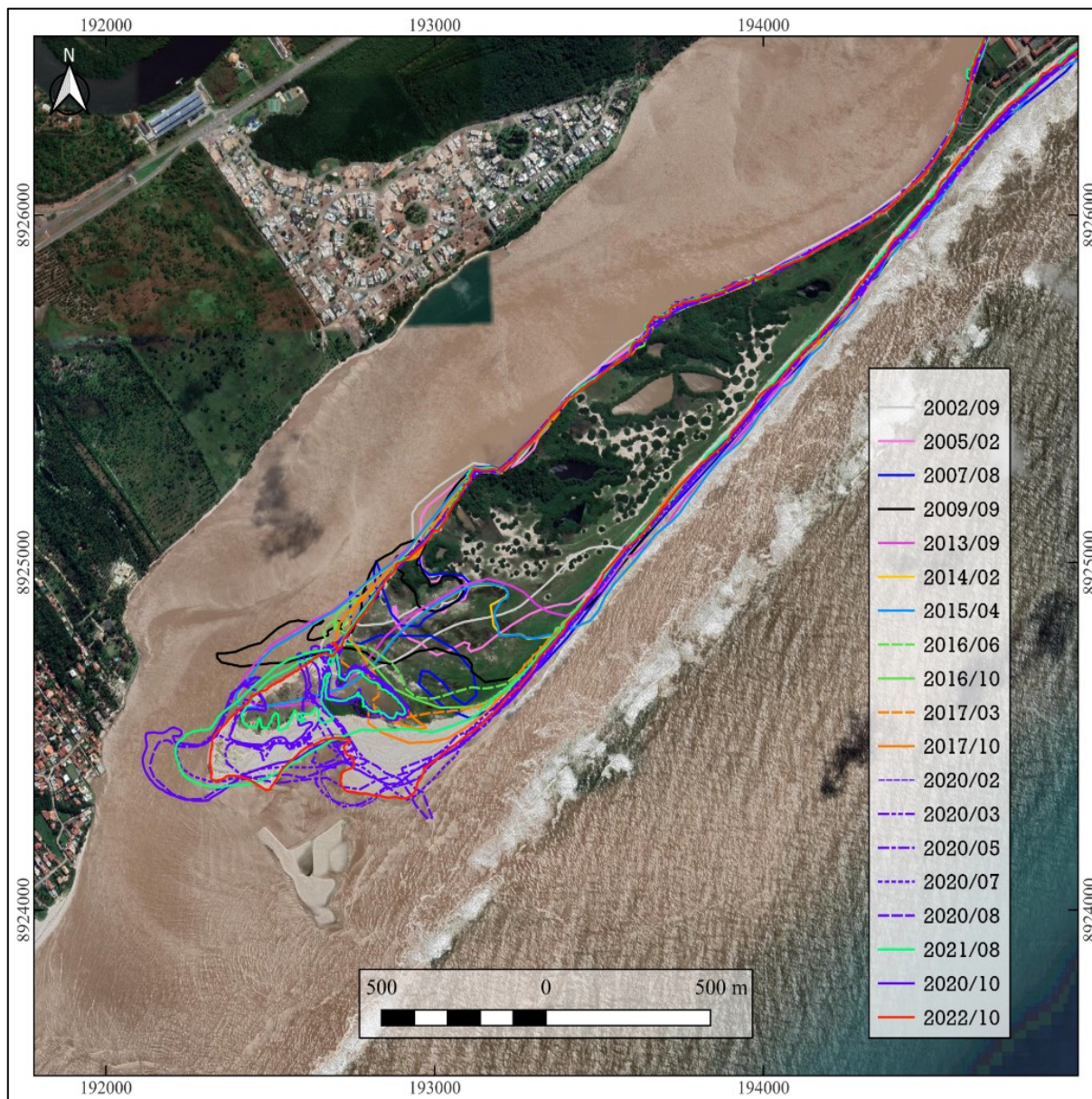


Figura 4: Evolução morfológica - Pontal 1.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A partir das análises realizadas, com base no mapeamento das linhas de preamar e cálculo de área, pode-se observar, como mostra a figura 5, um crescimento em metros quadrados no que diz respeito a área total do pontal arenoso. Observa-se que em 2002 a área possuía 750.092,30 m², enquanto que em 2022 apresentou 1.028.515,403 m². Esse aumento foi registrado, mesmo com pontos de decréscimo sazonais no valor em alguns anos intermediários, o que representou um aumento de cerca de 37% de sua área total no intervalo temporal analisado.

Os valores de área obtidos, corroboram com aqueles apresentados nos estudos de Lima (2004), que primeiro identificou a tendência de acresção existente na feição estudada, incluindo a observação do crescimento do comprimento do pontal no que se refere a sua extensão longitudinal (Figura 6). Verifica-se que enquanto a área do Pontal apresenta um crescimento positivo, com poucos intervalos de decréscimo de área expressivo, no que se refere a sua extensão, tem-se que o crescimento progressivo é interrompido, como máximo no ano de 2016, onde houve abrupta queda de valores, seguida da retomada de crescimento constante. Esse ano foi marcado por totais pluviométricos acima da média histórica, o que causou diversos eventos de aumento do volume das lagunas do CELMM, superando suas cotas de inundação. Esse aumento significativo da contribuição dos sistemas fluviais no balanço sedimentar ajuda a explicar a diminuição significativa do pontal arenoso, causada pela maior atuação da cunha fluvial.

A explicação para o constante crescimento da área está relacionada a sua distribuição paralela a linha de costa e também ao canal de desague da Laguna Mundaú, onde sofre perda e ganhos sazonais de sedimentos dos sistemas deposicionais, incluindo possíveis compensações no balanço sedimentar entre esses dois sistemas. No entanto, em alguns períodos a uma mudança nesse padrão, onde a feição passou por processos de inversão acabando por se alargar, diminuindo em comprimento, mas, ao mesmo tempo, crescendo em área, fenômeno observado, no ano de 2016 em que uma barra arenosa crescia em direção a SW foi desmembrada.

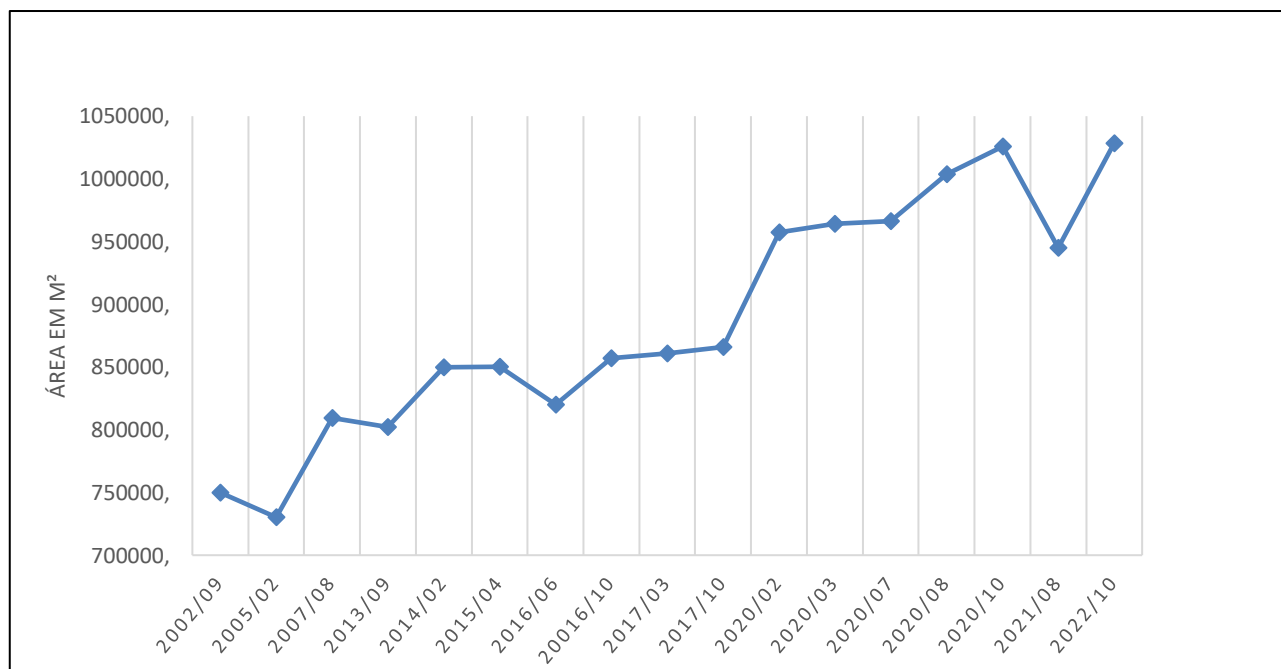


Figura 5 - Área do Pontal 1.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

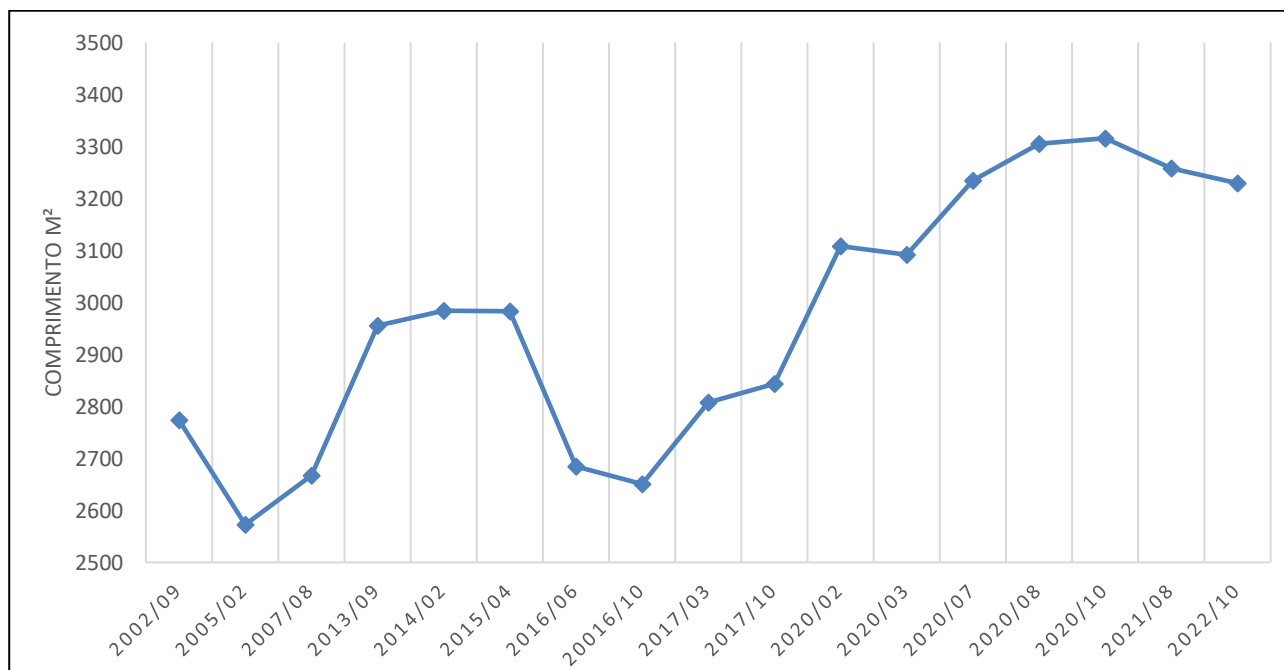


Figura 6 - Extensão longitudinal do Pontal 1.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4.2. Área 2 – Massagueira

A Área 2 compreende o pontal no Povoado da Massagueira, em Marechal Deodoro, porção sul da área (Figura 7). Uma faixa arenosa alongada paralelamente a linha de costa e parcialmente protegida por recifes, correspondendo à Praia do Saco da Pedra. Ao longo do levantamento bibliográfico não foram identificadas análises geomorfológicas prévias, dessa forma sua análise se deu através da metodologia empregada, mas sem correlações com estudos prévios ou dados prévios.

O pontal arenoso sul apresenta o maior dinamismo geomorfológico da área, com variações bastante significativas ao longo do período analisado. Em 2002 se estendia, na forma de um grande cordão arenoso, paralelo à linha de costa, com mais de 3 km de extensão, de modo que sua porção mais extrema, ao norte, na época, entraria em contato direto com a posição atual do pontal existente na Área 1. Seu recuo se deu pela intensificação da ação morfodinâmica do canal de desembocadura da Laguna Manguaba, o qual, por vezes rompeu o pontal arenoso, ora formando ilhotas, ora, transportando o material arenoso para a Ilha de Santa Rita, porção oeste da área. Por vezes, essa transposição das areias possibilitou a formação de pequenas lagoas salinas costeira na porção leste da referida ilha.

Essa faixa comprida e estreita inicial, foi sendo sistematicamente erodida em virtude da inversão da deriva litorânea, especialmente em momentos de maior assoreamento da

desembocadura na Laguna Mundaú. De acordo com Pinheiro *et al.* (2021), a área de estudo sofre influência das cheias sazonais nas bacias dos rios Paraíba do Meio e Mundaú que atuam também como vetores do transporte sedimentar e modificação das feições presentes na área de estudo. Essas cheias, nem sempre concomitantes acabam por influenciar na maior ou menor hidrodinâmica nas desembocaduras, contribuindo para mudanças nas correntes de deriva locais.

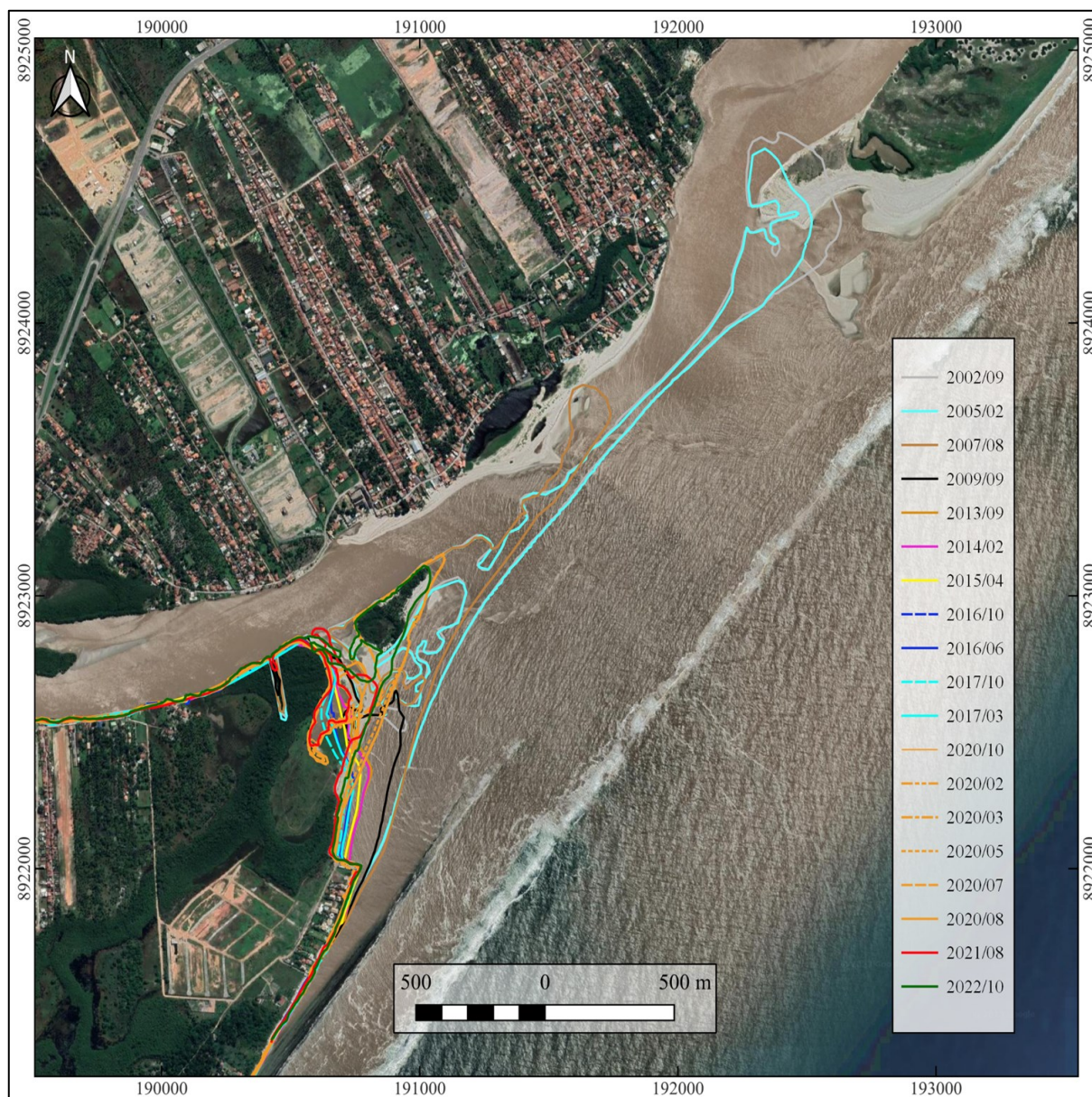


Figura 7: Evolução morfológica - Pontal 2.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Verifica-se que entre 2002 e 2005 a área apresentou relativa estabilidade, no que compreende a sua forma geral, com os primeiros indícios de processos erosivos mais acelerados sendo observados a partir de 2007, quando foi verificada diminuição de sua

extensão longitudinal e processo incipiente de abertura de um canal secundário, transversal, a sudoeste da feição. Esse processo se consolidou em 2009, momento em que a abertura do canal se estabeleceu e criou uma nova uma ilha. Entre 2009 e 2017, fez com que o fio d'água incipiente progressivamente alargasse, crescendo em dimensões, desmembrando a feição e criando um canal cuja distância entre suas margens tornou-se superior a 100 metros.

A nova ilha, inicialmente, apresentava formação vegetal estabelecida em suas porções mais extremas (norte e sul) ao contrário de sua porção central, que compreendia uma estreita crista arenosa, com a presença de formação vegetal incipiente. Nesse sentido, observou-se que a feição foi progressivamente erodida em sua parte central, dando origem a duas barras de canal.

Analisando os valores referentes a área quantificada do pontal presente na Área 2 verifica-se que em 2002 ela correspondia a mais de um milhão de metros quadrados (1.313.935,11 m²) e, progressivamente, perdeu área com uma queda expressiva registrada em 2003, momento em que a feição foi desmembrada (Figura 8).

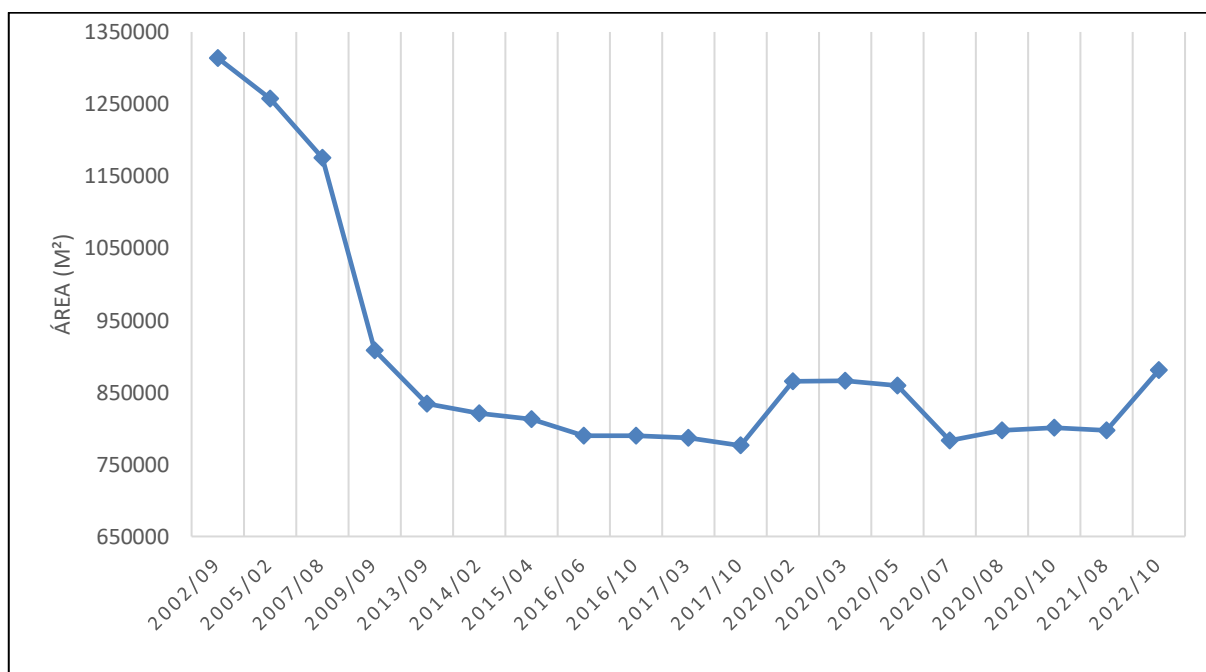


Figura 8: Área do Pontal 2
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A partir de 2009, o Pontal da Massagueira manteve-se relativamente estável no que compreende valores métricos de área e forma, destacando-se, entretanto, dois momentos em que o valor de sua área cresceu, fevereiro de 2020, com queda abrupta em julho do mesmo ano, e outubro de 2022. Essa variabilidade nos valores pode ser explicada pela reconexão da barra à porção continental localizada a sul, reconfigurando a ilha barreira,

com o tamponamento do canal secundário transversal. Conforme destacado por Pinheiro *et al.* (2021), a vazão dos rios Mundaú e Paraíba do Meio é maior entre os meses de maio e agosto com máximo no mês de julho, e queda que se inicia em setembro; esses momentos coincidem com as quebras do padrão da área do Pontal (Figura 9).

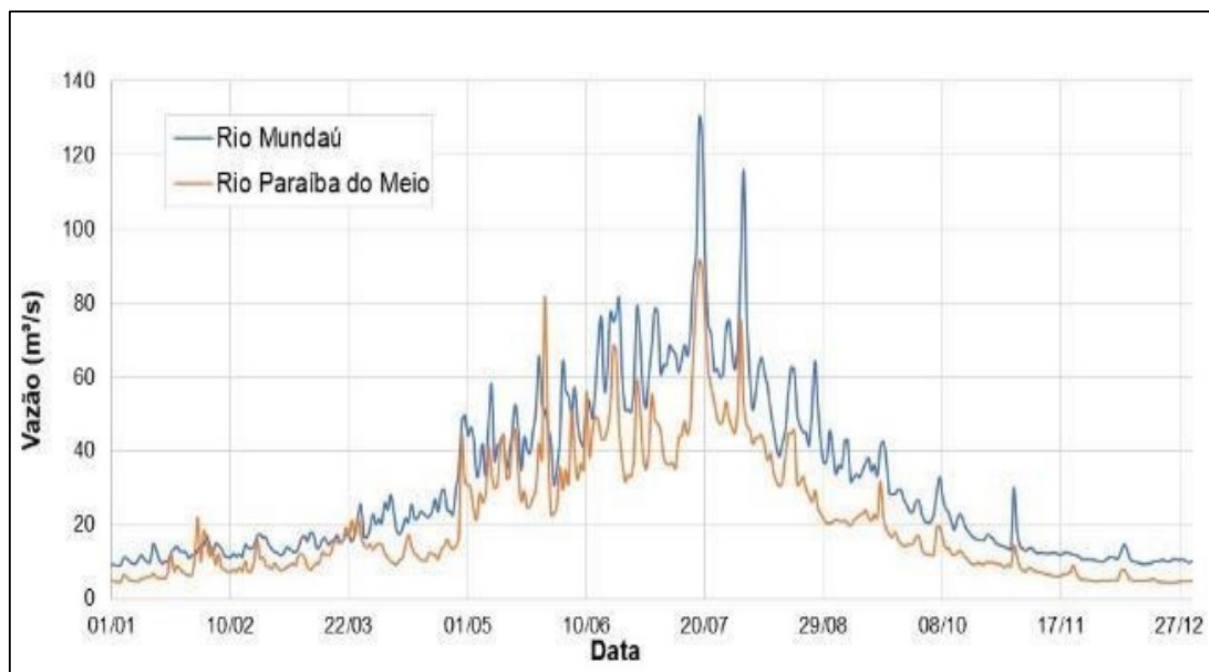


Figura 9 - Vazão dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio

Fonte: Amorim *et al.*, 2021.

4.3. Área 3 – Ilha de Santa Rita

A Área 3, Barra Nova, no período estudado, funcionou como receptora do produto das alterações morfodinâmicas das demais áreas, recebendo os materiais deposicionais removidos. A estocagem de sedimentos deu origem a corpos hídricos efêmeros, pequenos canais e lagoas salobras, nos momentos de progradação de sua linha de costa. Sua morfologia ora se alongou perpendicularmente em direção ao mar, ora retrogradou, colocando em risco, inclusive, edificações presentes em seus extremos norte e sul.

Pode-se observar que, no intervalo analisado, a Área 3 apresenta tendência a acreção, especialmente em sua porção central (Figura 10). Analisando o mapeamento das feições pode-se identificar os processos morfodinâmicos que levaram a configuração atual dessa Área. Sua progradação em direção ao mar está relacionado ao processo erosivo intenso que ocorreu na área 2, Pontal da Massagueira, onde houve a destruição da ilha barreira nas últimas décadas.

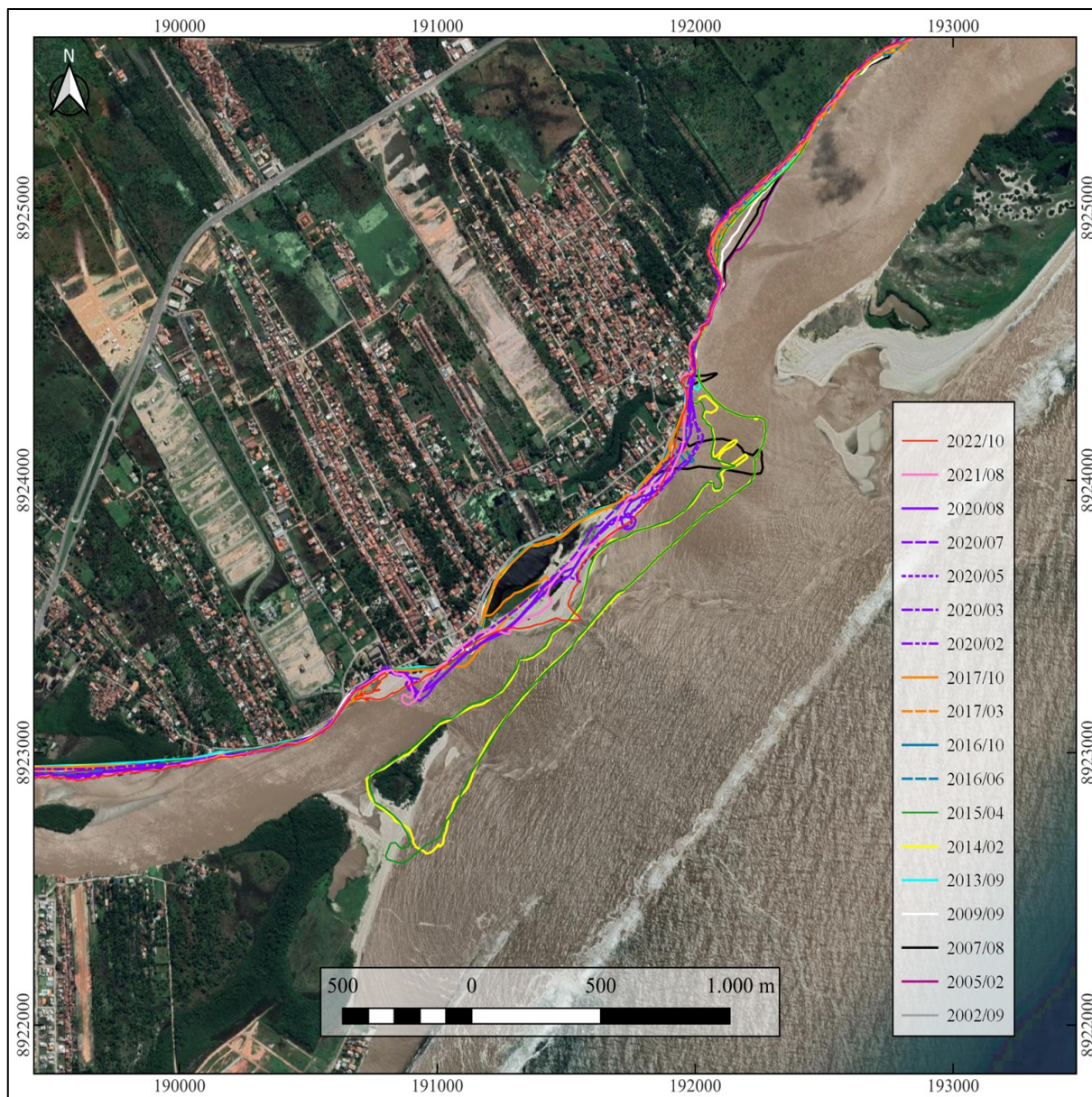


Figura 10 - Evolução morfológica – Ilha de Santa Rita

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A origem da configuração atual da paisagem na Área 3 está relacionado ao processo de migração dos sedimentos oriundos da ilha barreira, anteriormente existente na desembocadura. A análise das imagens de satélite e mapeamento das formas mostrou que a deriva litorânea e sua consequente deposição de sedimentos resultou na fixação dos sedimentos em porções mais interiores, progredindo a linha de costa, com incorporação do material à Área 3.

Pôde-se observar, a partir das imagens, que uma pequena faixa de areia se formou entre Área 3 a ilha barreira, depois anexada à Área 2, criando um corredor arenoso entre os anos de 2014 e 2015, mas que devido ao caráter frágil em algum momento após 2015, a erosão resultasse em uma separação entre as feições. Desse modo, parte da Área 2

ficou anexada por algum tempo a Área 3, sendo esse o momento de maior progradação da Área 3.

Uma vez que o cordão arenoso se despreendeu da praia da Barra Nova, Área 3, como destacado anteriormente, o material foi sendo deslocado para norte, na ilha barreira, chegando a até onde atualmente está o sul da Área 1 formando uma extensa ilha barreira de distribuição norte-sul e com pequena largura entre o mar e o canal de desague da Laguna Manguaba. Parte do material sedimentar ficou ancorado na porção norte da Área 3, dando origem a uma lagoa salobra, observada nas imagens de 2017.

Observa-se que a dinâmica sedimentar, variação de marés, direção do trem de ondas e a própria relação entre a cunha salina e fluxos que transcorrem pelos canais do Complexo e canais que deságuam no mar, possuem uma relação direta com os processos modeladores das feições presentes na Área. Suas áreas e eixos morfométricos estão intimamente ligados à remobilização de sedimentos, mesmo as três áreas analisadas possuindo núcleos mais estáveis, ancorados pela proteção de arrecifes, presença de vegetação mais densa e posição geográfica, áreas interiores protegidas, do ponto de vista morfodinâmico, pelos pontais arenosos, norte e sul.

4.4. Morfologias Efêmeras

Além das três áreas de amostragem delimitadas nas análises anteriores, existe uma série de morfologias efêmeras que, ao longo do tempo, foram sendo estruturadas, reafeiçoadas e desapareceram na paisagem. A esses conjuntos, os quais por vezes se sobrepuseram, fizeram parte as áreas maiores ou permaneceram por pouco tempo na Área de estudo, foi atribuída a nomenclatura de morfologias efêmeras. Esses foram agrupados em cinco conjuntos apresentados no mapa a seguir (Figura 11).

O primeiro conjunto de feições efêmeras estruturou-se na porção norte da área e tem sua gênese ligada a mudanças no extremo sul da Área 1, quando de seu primeiro processo de erosão mais intenso. Observou-se por meio das imagens que após 2005 havia a porção central do pontal, com cobertura vegetal, despreendeu-se de uma série de bancos de areia, formando barras longitudinais. Essas novas barras foram sendo cobertas por vegetação pioneira, com máxima densidade vegetacional em 2007. Entretanto, a vegetação presente não foi capaz de estabilizar essa área, quando da intensificação da morfodinâmica da desembocadura da Laguna Mundaú em 2009, ano marcado por expressivos volumes pluviométricos na bacia do homônima.

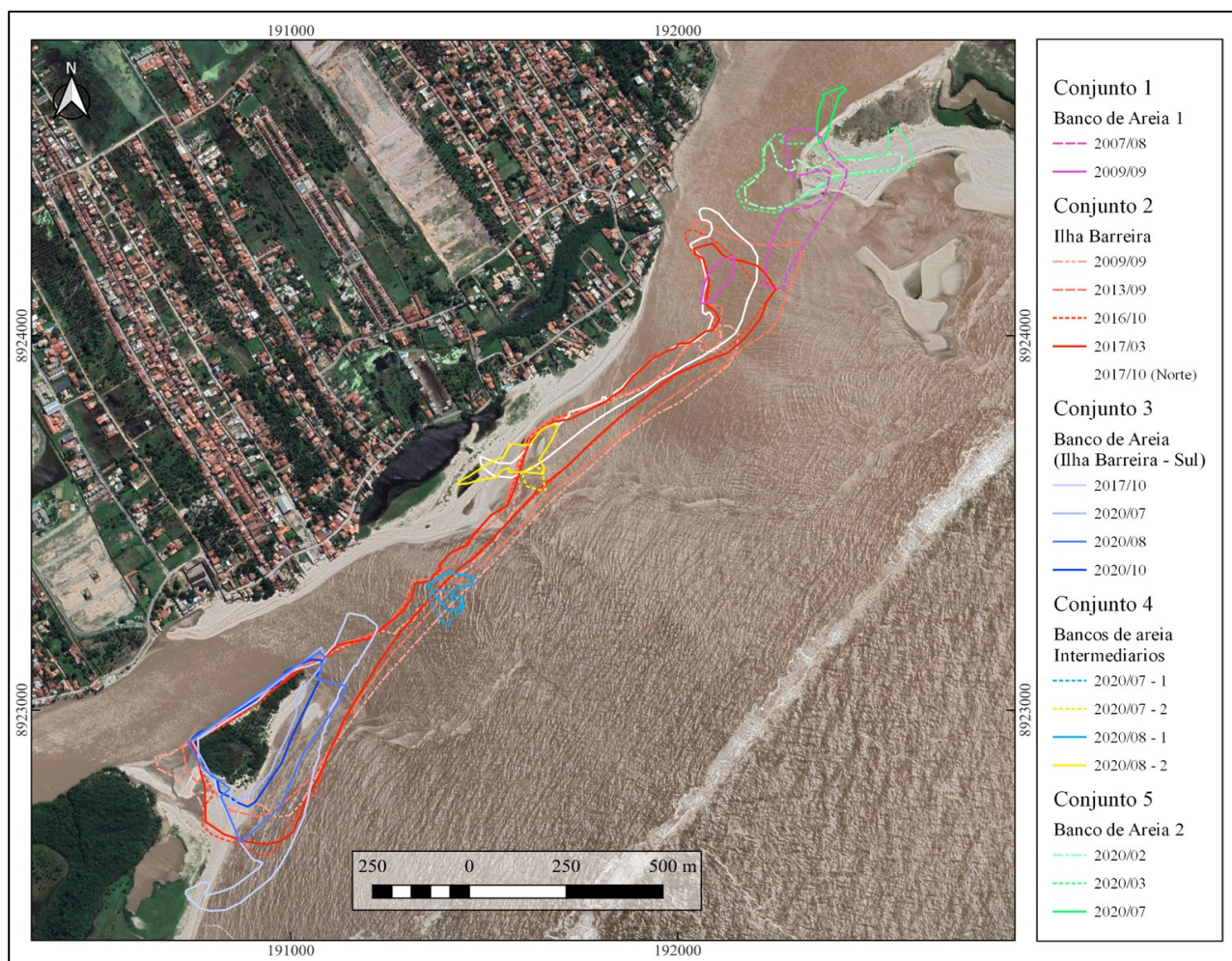


Figura 11 - Evolução morfológica, Ilha barreira e Bancos de Areia.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O segundo conjunto efêmero compreende a ilha que se formou, paralelamente a linha de costa, no momento em que a morfodinâmica da desembocadura da Laguna Manguaba deu origem a um canal secundário, por extravasamento lateral da barra arenosa e despreendeu parte significativa do Pontal da Praia do Saco da Pedra. Essa feição se manteve na paisagem, com tamanho e forma variados, por alguns anos, uma vez que porção estava densamente coberta e ancorada por vegetação, já sua porção central possuía cobertura discreta, e uma ampla área arenosa ao norte.

As imagens mostram que seu processo de formação e transformações se iniciaram a partir do momento em que a porção arenosa, ao norte do pontal, individualizou-se e posteriormente iniciou uma primeira conexão com a praia da Barra Nova, na ilha de Santa Rita. Essa conexão inicial não se manteve por muito tempo e, após isso, a feição de conexão com a Barra Nova teve sua área sistematicamente erodida, quando em 2017 houve sua completa individualização, com a formação da ilha de distribuição norte-sul, concordante com o sentido da deriva naquele momento.

A porção ao sul, o Pontal da Praia do Saco, após o desmembramento da ilha, passou por momentos de acreção e recuos, ora expandido em direção ao norte, quando da intensificação dos ventos de sudeste, os quais empurram o *trend* de ondas e conseqüentemente a deriva para norte; ora recuando, seja pelo desmembramento de algumas de suas porções mais ao norte, quando da abertura de canais secundários à desembocadura da Laguna Manguaba, ou pelo intenso transporte de sedimentos para a ilha na porção central da área e, posteriormente para a Área 3, Barra Nova.

Analisando enquanto unidade, observa-se uma diminuição de sua área, quando em 2017 apresentava cerca de 137.813,84 m² e em 2022 59.890,77 m², o que representou uma diminuição de cerca de 56%. Desse modo, percebe-se que mesmo a vegetação pioneira mais densa não está sendo capaz de ancorar os sedimentos arenosos. O recuo nos últimos anos tem se intensificado nessa área ao ponto de pôr em risco e causar danos às edificações presentes, casas e veraneio de médio e alto padrões, onde já estão sendo implantadas obras de proteção contra a erosão costeira (Figura 12).



Figura 12 - Erosão costeira na Praia do Saco da Pedra, Marechal Deodoro, a esquerda uma vista norte sul e a direita uma vista sul norte. **Fonte:** Acervo dos autores, 2024.

Os próximos conjuntos de feições, 4 e 5, compreendem bancos de areia, croas, que se formaram a partir dos processos de entulhamento nos canais de desembocadura das lagunas. A cunha salina desloca parte do material depositado nas praias pela deriva litorânea em direção às lagunas, a cunha fluvial empurra esse material de volta em direção ao mar. Um equilíbrio, tênue, entre esses dois processos de transporte acaba gerando barras arenosas efêmeras nas desembocaduras lagunares, expostas nas marés baixas, especialmente nas sizígias.

As maiores feições desse conjunto compreenderam dois bancos arenosos, o primeiro se formou a partir da erosão da porção norte, inicialmente desmembrada da ilha

barreira, e se extinguiu em menos de dois anos; o segundo, por sua vez é resultado da erosão da antiga conexão que unia a ilha barreira à praia da Barra Nova. Essas morfologias foram perdendo área, as quais foram transportadas para porções mais interiores das desembocaduras, contribuindo com o processo de assoreamento dos baixos cursos das Lagunas.

Além da maior ação da cunha salina, represamentos e processos de urbanização desordenada presentes nas bacias de drenagem que desaguam nas Lagunas, incluindo maior carga em suspensão, tem contribuído para a diminuição da energia do transporte fluvial, bem como, o assoreamento das Lagunas. Esses processos influenciam fortemente na morfodinâmica costeira, conseqüentemente, no desenvolvimento das paisagens presentes na desembocadura do CELMM.

O quinto conjunto compreendeu um banco de areia que se formou por conta da erosão do Pontal da Barra, Área 1, e que é alimentado pelos fluxos sedimentares oriundos da Laguna Mundaú e quando da deriva litorânea de direção sul sudoeste. Uma croa emersa mesmo na maré alta, resultante do desmembramento da porção extremo sul do Pontal. Essas morfologias foram destruídas nos últimos anos e seu material foi sendo empurrado pela cunha fluvial, sendo reincorporados ao extremo sul do Pontal da Barra, contribuindo com a progradação da linha de costa nessa área.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que no período analisado as morfologias presentes na desembocadura do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) apresentaram uma intensa morfodinâmica, marcada pela remobilização de sedimentos tomando como vetores desse retrabalhamento o fluxo nos fluviais das lagunas Mundaú e Manguaba e a ação das ondas vindas, principalmente com trend de sudeste.

Foi possível constatar, através da metodologia empregada, na série de imagens analisadas, que o pontal arenoso existente ao sul da Área 2, Pontal da Praia do Saco, em Marechal Deodoro, apresentou expressivo recuo de área, com retrabalhamento da linha de costa e expondo as edificações presentes na área a ação da abrasão marinha. Nessa porção, houve além do recuo da linha de costa, perda de área de manguezal. Tais processos põem em risco o patrimônio edificado, biológico e também histórico da área, uma vez que nessa área está assentado o Sambaqui Saco da Pedra.

Cronologicamente, verificou-se que desde a década de 1990 o Pontal da Barra Área 1, em Maceió, apresenta tendências de crescimento longitudinal, o que se intensificou nos

anos seguintes. Bem como, o desprendimento do pontal presente na Área 2, deu origem a uma ilha barreira que, durante 8 anos, manteve-se estacionária na área da Desembocadura, sendo erodida, inicialmente, em sua porção central dando origem a duas barras de canal uma originada de sua porção sul, que se mantêm estacionária e periodicamente reconecta-se a Área 2, e outra em sua porção norte, cujos sedimentos progressivamente foram sendo remobilizado em direção a noroeste, sendo posteriormente incorporados à ilha de Santa Rita, na praia da Barra Nova.

Foi observado que a metodologia empregada possibilitou a obtenção dos modelos cartográficos, os quais foram utilizados nas análises geomorfológicas empregadas. Onde foi possível reconstituir parte da evolução morfodinâmica da desembocadura do CELMM, mesmo sem maiores rigores na sequência temporal das imagens utilizadas. A principal mérito metodológico caracteriza-se, sobretudo, pelo seu baixo custo, o que amplia sua possibilidade de aplicabilidade no que se refere ao mapeamento de transformações em feições costeiras no Nordeste Oriental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Alagoas e ao seu Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG/Ufal; ao Laboratório de Geologia – LabGeo/IGDema/Ufal a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao seu Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia –PPGE/UFRN. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – Fapeal pelo financiamento. Por fim, os autores agradecem a bolsa de doutorado concedida pelo Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Fundamentos da Geomorfologia Costeira do Brasil Inter e SubTropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2000.

ARAUJO, T. D.; FONSECA, E. L. da. Análise Multitemporal dos Lençóis Maranhenses Entre 1984 a 2014 Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital (Spatio-Temporal Analysis of Lençóis Maranhenses Between 1984 and 2014 Using Orbital Remote Sensing). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 280–295, 2016.

BATISTA, D. C. L.; VIEIRA, A. F. S. G.; MARINHO, R. R. Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 20, p. 1-12, 2019.

BEZERRA, K. L. T. **Morfodinâmica e caracterização geoambiental na planície costeira do município de Marechal Deodoro, Alagoas**. 2020. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

CASSIANO, G. F.; SIEGLE, E. Migração lateral da desembocadura do Rio Itapocú, SC, Brasil: evolução morfológica e condicionantes físicas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, p. 537-549, 2010.

CRUZ, R. R. **Dinâmicas socioambientais na produção do espaço da Massagueira em Marechal Deodoro-AL**. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, M. *et al.* Anthropogenic Action on Historical Shoreline Changes and Future Estimates Using GIS: Guadamar Del Segura (Spain). **Applied Sciences**, v. 13, n. 17, p. 9792, 2023.

GUIMARÃES JÚNIOR, S. A. M.; NASCIMENTO, M. C. do; DA SILVA, D. J. R. P. Impactos do uso da terra no complexo estuarino-lagunar mundaú-manguaba - alagoas – brasil. **Revista Contexto Geográfico**, v. 2, n. 3, p. 86–99, 2018.

LIMA, R. C. A. **Estudo sedimentológico e geoambiental no sistema lagunar Mundaú – Alagoas**, 1998, 120f. Dissertação (Mestrado em Geociência) - Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

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) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

MOREIRA, A.; CYNTHIA, R.; MICHAEL, V. Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Análise Multitemporal da Linha de Costa Região de Icapuí/CE, entre 1984 e 2013. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 16, p. 52–58, 2014.

MUEHE, D. O sistema praias: formas, termos, processos e medição. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, p. 27-55, 2020.

PEREIRA, M.; PEREIRA, T. Mapeamento Espaço-Temporal da Duna Mãe da Planície Costeira do Cabo Frio (RJ) de 2005-2020. **Geo UERJ**, n. 42, p. 1-15, 2023.

PAGÁN, J. I. *et al.* Consequences of Anthropogenic Actions in Cullera Bay (Spain). **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 4, p. 240, 2020.

PETEK, O. J. D. A. *et al.* Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Buriticupu (MA), Brasil. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 11, p. 27700–27716, 2023.

PORTZ, L. C. *et al.* Impacts of anthropogenic structures in long-and short-term shoreline evolution of Santa Marta Bay (Colombian Caribbean). **Geo-Marine Letters**, v. 44, n. 2, p. 4, 2024.

RABELO, T. O. **Geoconservação e risco de degradação em ambientes costeiros: uma proposta de avaliação do geopatrimônio costeiro dos municípios de Raposa-MA e Galinhos-RN, Brasil**. 236f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PINHEIRO, K. R. *et al.* Renovação das águas no complexo estuarino lagunar Mundaú-Manguaba (Alagoas, Brasil) sob diferentes configurações de embocaduras. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 2, p. 295–306, 2021

SANTOS, E. C. dos. **Caracterização da evolução morfológica do pontal arenoso no estuário do rio Araranguá a partir de dados de sensoriamento remoto orbital**. 2021. 81f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2021.

SILVA, T. C. L.; FERREIRA, B. Geomorfologia do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM, Alagoas, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 2, p. 68–79, 2021.

SILVA, T. C. L.; SANTOS JÚNIOR, J. F. DOS; FERREIRA, B. Índice de geodiversidade do complexo estuarino lagunar Mundau-Manguaba - CELMM, Alagoas, nordeste do Brasil. **Acta Geografica**, v. 16, p. 139-165, 2023.

SILVA, A.; SUSKI, C. Análise espaço-temporal da evolução da vulnerabilidade costeira em Itapoá - Santa Catarina: Uma Perspectiva Hidrogeomorfológica e Climática. **Estrabão**, v. 2, n. 1, p. 230–233, 2021

SOUZA, C. R. de G. *et al.* (Org.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.

VIEIRA, A. F. S. G.; FROTA FILHO, A. B. da. Avaliação das técnicas de monitoramento de voçorocas: o exemplo da Região Metropolitana de Manaus-AM, na região amazônica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, p. 1-28, 2023.

TOOTH, S. Goole Earth™ in geomorphology: re-enchanting, revolutionising or Just another resource? In: SHRODER, J.; SWITZER, A. D.; KENNEDY, D.M., (Eds.). **Treatise on Geomorphology**. Methods in Geomorphology. San Diego: Academic Press, 2013, p. 53–64.

Recebido: 09/05/2024

Aceito: 08/07/2024