

VULNERABILIDADE COSTEIRA À EROSÃO NA ILHA DO ATALAIA, SALINÓPOLIS, PARÁ (AMAZÔNIA)

Ewerton Müller da Silva Souza ¹
Milena Marília Nogueira de Andrade ²

RESUMO

O estudo dos ambientes costeiros é de extrema importância para a gestão pública, já que muitos brasileiros residem em áreas litorâneas. Apesar da vasta zona costeira do Brasil, a urbanização e a pressão demográfica têm impactado negativamente a paisagem. No Pará, promulgou-se uma lei para o gerenciamento costeiro descentralizado e planejamento efetivo de políticas adequadas. Salinópolis, especialmente a Ilha de Atalaia, enfrenta graves problemas, como erosão, acúmulo de resíduos, falta de tratamento de esgoto, contaminação de águas subterrâneas, redução dos manguezais e ocupações irregulares devido à urbanização descontrolada. Desse modo, a análise de variações na linha de costa através de imagens de satélite permite a identificação de processos erosivos e acrecionais em uma escala temporal. A dinâmica da erosão é essencial para compreender a modificação costeira local e subsidiar ações adequadas de ocupação e de gestão. Nesta pesquisa, realizou-se uma avaliação multitemporal (20 anos) da variação da linha de costa em Atalaia, utilizando o método Digital Shoreline Analysis (DSAS) e imagens de satélite Landsat. Entre 2002 e 2022, houve um recuo médio linear de 84,80 metros e um avanço linear de 230,54 metros. As áreas em erosão representam 21,81% da costa e são as mais expostas ao oceano, onde a urbanização ocorre desordenadamente. A deposição de sedimentos na linha de costa é influenciada pela carga sedimentar dos estuários. É imprescindível que as autoridades utilizem esses resultados para fundamentar medidas adequadas de gestão e planejamento, preservando a integridade dos ambientes costeiros e garantindo a sustentabilidade dos mesmos.

Palavras-chave: Zona costeira, Geoprocessamento, Erosão, Amazônia.

ABSTRACT

The study of coastal environments is of utmost importance for public management, as many Brazilians reside in coastal areas. Despite Brazil's extensive coastline, urbanization and demographic pressure have negatively impacted the landscape. In Pará, a law was enacted for decentralized coastal management and effective planning of appropriate policies. Salinópolis, especially Atalaia Island, faces serious problems such as erosion, waste accumulation, lack of sewage treatment, contamination of groundwater, reduction of mangroves, and irregular occupations due to uncontrolled urbanization. Thus, the analysis of variations in the coastline through satellite images allows the identification of erosive and accretion processes over time. Understanding erosion dynamics is essential for comprehending local coastal modification and supporting appropriate occupation and management actions. In this research, a multi-temporal assessment (20 years) of coastline variation in Atalaia was conducted using the Digital Shoreline Analysis (DSAS) method and Landsat satellite images. Between 2002 and 2022, there was an average linear retreat of 84.80 meters and a linear advancement of 230.54 meters. Eroding areas represent 21.81% of the coast and are the most exposed to the ocean, where urbanization occurs haphazardly. Sediment deposition on the coastline is influenced by estuarine sediment loads. It is imperative for authorities to use these results to support

¹ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal do Pará - UFPA, ewertonmuller30@gmail.com.

² Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Instituto Ciberespacial, Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia (Instituto de Geociências/UFPA) e da Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal do Pará - UFPA, milenamarilia@yahoo.com.br.

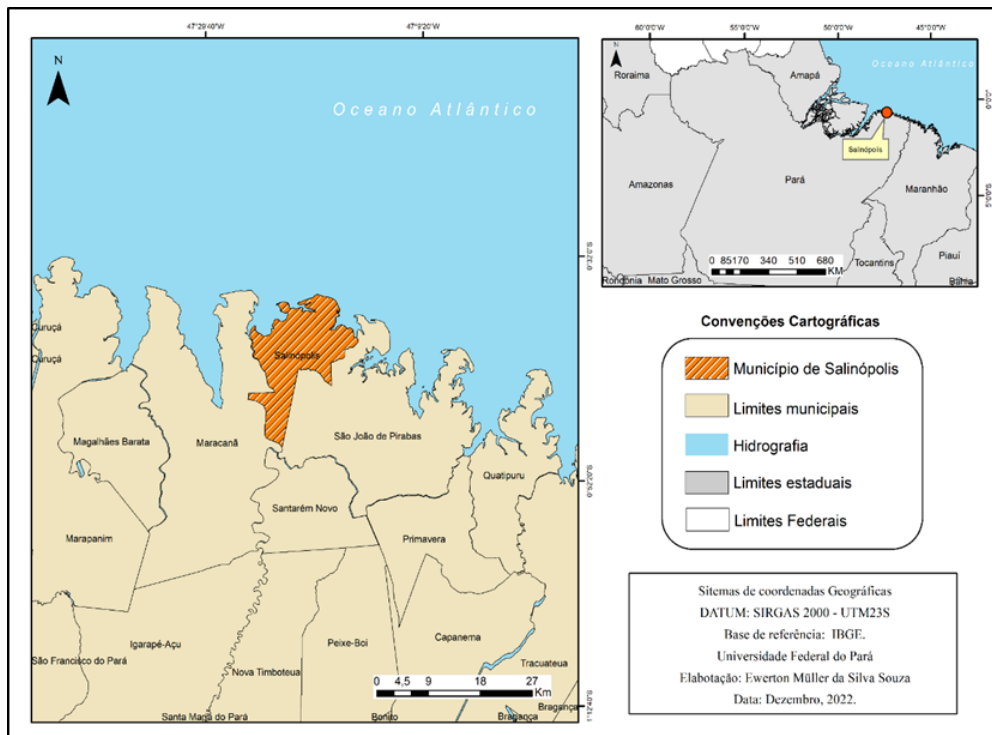
appropriate management and planning measures, preserving the integrity of coastal environments and ensuring their sustainability.

Keywords: Coastal Zone, Geoprocessing, Erosion, Amazon.

INTRODUÇÃO

O município de Salinópolis Integra a Mesorregião do Nordeste Paraense, situa-se entre as latitudes $0^{\circ} 35' 28.12''$ e $0^{\circ} 51' 0.89''$ sul e entre as longitudes $47^{\circ} 29' 14.53''$ e $47^{\circ} 14' 7.00''$ oeste. Ao Norte, limita-se com o Oceano Atlântico; a Leste com o município de São João de Pirabas; ao sul e a oeste, com o município de Maracanã. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui área territorial de 223 km² e população de 40.675 pessoas, apresentando uma densidade demográfica de 157,40 hab/km². Sua sede dista 212 km da capital Belém.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Salinópolis.



Fonte: Autores, 2023

A região costeira é um espaço caracterizado por diversas interações, envolvendo fatores físicos provenientes da terra, do mar e da atmosfera. Essa complexa dinâmica resulta em contínuas transformações na morfologia, vegetação e composição sedimentar desta área.

A costa brasileira possui aproximadamente 9000 km de extensão, representa 32% das fronteiras nacionais. Nesse espaço, compreendem-se feições geomorfológicas, climas e ecossistemas os quais elencam a diversidade e a dinâmica latente deste ambiente. (Lins-de-



Barros, 2020). Portanto, a Zona Costeira (ZC) representa uma região geográfica onde ocorre a interação entre o oceano e o continente, e também serve como palco para uma diversidade de atividades humanas, tais como recreação, transporte, moradia, indústria e geração de energia. Como resultado, esta é uma das áreas com os ecossistemas de restinga e manguezais mais impactados devido à intensa atividade humana que nela se desenvolve.

O limite que demarca a interface entre o oceano e o continente, onde as ondas e marés alcançam sua máxima influência, é conhecida como linha de costa (LC). Esta linha está em constante mutação morfodinâmica, devido às interações complexas entre processos oceânicos (como ondas, marés e correntes), fatores continentais (como movimentos neotectônicos, descarga fluvial e degelo), condições climáticas/meteorológicas (incluindo ventos, precipitação e tempestades) e influências humanas (como a degradação dos ecossistemas costeiros). (Silva et al., 2004),

Esses fenômenos moldam a linha de costa ao longo do tempo, resultando em momentos de erosão e outros de progradação em várias partes do litoral. Portanto, a linha de costa é vista como um limite em constante movimento, e sua posição pode flutuar em diversas escalas (Boak & Turner, 2005).

Essa movimentação causa uma problemática da erosão em áreas costeiras urbanizadas resulta frequentemente em respostas de contenção, como a construção de muros, espigões, barreiras de sacos de areia, entulho, pedras, plantação de árvores, entre outras medidas. Diante desse paradoxo de causa e efeito, estudiosos como Muehe (2005) e Souza (2009) argumentam que a erosão sofrida por essas estruturas atua como indicador de eventos erosivos mais intensos, causados pela influência energética dos agentes físicos que moldam e transformam a costa.

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) e toda a paisagem ao longo da costa estão atreladas a processos antigos, como mudanças no Nível Médio do Mar (NMM) e condições climáticas passadas (Braga, 2019). Essa configuração foi esculpida pela dinâmica atual, influenciada tanto por fatores naturais quanto pela intervenção humana. As várias unidades de paisagem, também conhecidas como Sistemas Ambientais Naturais e Antrópicos, conforme Muehe e Nicolodi (2008), que compõem o panorama costeiro da Amazônia, são extremamente diversificadas. Elas são principalmente caracterizadas por planícies lamacentas, manguezais, canais de maré, praias, bancos de areia, dunas e falésias.

Braga (2007) estuda alguns elementos oceanográficos da área do município de Salinópolis e expõe que ocorrem marés de grande amplitude duas vezes ao dia (amplitudes superiores a 4m). As correntes de maré desempenham um papel fundamental na dinâmica costeira, sendo as forças predominantes ao longo do litoral. Adicionalmente, há correntes



litorâneas que se originam da chegada das ondas à costa. Ambas essas correntes desempenham um papel crucial no transporte de grandes volumes de sedimentos da plataforma continental para a região costeira.

Ranieri (2016) elenca características geográficas do município de Salinópolis, que as distinguem do ambiente continental. Na região pós-praia, variam desde áreas de lama, como os manguezais, até planícies de areia com vegetação de restinga, referindo-se a terrenos arenosos e salinos cobertos por plantas herbáceas.

Não obstante, Braga (2019) traça perspectivas pertinentes nos estudos sobre vulnerabilidade no município de Salinópolis, elementos como das massas demográficas, diferem significativamente em termos de densidade populacional e rendimento. Com exceção das três áreas metropolitanas de San Luís e Macapá, que são densamente povoadas e têm rendimentos mais elevados, a ocupação humana começou a ocorrer nas vastas áreas costeiras da Amazônia e as suas comunidades enfrentam graves desafios socioeconômicos.

O município Salinópolis está situado na Costa Atlântica Paraense, no Brasil. É conhecido por ser um importante polo de turismo em função da riqueza ambiental presente no ambiente, sendo um dos principais pontos de preservação da biodiversidade da região, abriga ecossistemas como manguezais, restingas, praias e ilhas, que são habitats para uma ampla variedade de espécies animais e vegetais (Braga, 2019). Esses ecossistemas são fundamentais para o equilíbrio ambiental da região, desempenhando serviços ecossistêmicos importantes na proteção da costa contra a erosão, na regulação do clima e na preservação da biodiversidade.

Desse modo, as ações de gestão costeira são de extrema importância, sendo um instrumento político para as atividades de planejamento e gerenciamento das zonas costeiras. O estudo sobre erosão, portanto, está inserido nesse bojo para a compreensão dos fenômenos existentes na LC.

Conforme Souza & Ângulo (1997), a erosão costeira é um dos fenômenos mais marcantes nos processos ao longo da costa e tornou-se uma questão crítica na maioria das regiões costeiras globais. Mais de 70% das costas arenosas têm apresentado uma tendência erosiva nas últimas décadas, enquanto menos de 10% demonstram progradação de 20-30% e permanecem estáveis. Os estudos descritivos sobre a erosão na zona costeira paraense são limitados, com as primeiras investigações sobre o tema começando em 2000 (Souza Filho *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2000).

Nesse cenário, estudos sobre erosão tornam-se imprescindíveis tanto em escala regional quanto nacional. Tais conhecimentos são fundamentais para a elaboração de planejamentos os quais são instrumentos guia para uma gestão costeira adequada.


No Brasil, a gestão costeira começou a ganhar âmbito pela Lei n.º. 7.661, de 16 de maio de 1988, instituindo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), cujos detalhes e operacionalização foram objeto da Resolução n.º 01/90 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), de 21/11/90 (MMA, 2018). Segundo o Artigo 2º da Lei n.º. 7.661, o PNGC visa especificamente orientar a utilização dos recursos na Zona Costeira Brasileira, de forma a contribuir para elevar a qualidade da vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (Brasil, 1988).

Sob essa perceptiva, pesquisas relacionadas ao estudo da dinâmica costeira têm ganhado relevância nos últimos anos e, em especial na Amazônia (Ranieri e El-Robrini, 2016; Braga et al. 2019, De Souza Negrão et al. 2022), principalmente atrelados à erosão, a qual é um problemático presente no litoral, ocasionados tanto por mudanças antrópicas nos sistemas ambientais, quanto de fatores naturais que alteram os padrões ambientais, acarretando a perda de moradias, danos financeiros e colocando a população em risco.

Em Salinópolis, tais modificações nos sistemas ambientais passaram a ser mais latentes a partir do momento em que o município fora designado como Estância Hidromineral conforme o Decreto/Lei 3.786/66, passou a atrair investimentos estatais para desenvolver infraestruturas e promover o turismo (Rosa, 2021). A urbanização no município se intensificou a partir da década de 1970, avançando notavelmente sobre a Ilha do Atalaia devido à construção da estrada PA-444 e da ponte que a conecta à sede do município em 1974 (Ranieri *et al.*, 2015; Almeida, 2017).

Atualmente, Salinópolis caracteriza-se por um ambiente moldado pelo desenvolvimento turístico, um setor significativo na região. Esse crescimento impactou diretamente a ocupação próxima da costa, incluindo manguezais e dunas, com a implementação de grandes empreendimentos, loteamentos, resorts e parques aquáticos (Rosa, 2021). Essas atividades têm gerado consequências ambientais, sociais e econômicas, como a ocupação de áreas vulneráveis a inundações e erosão costeira, contaminação do lençol freático, má gestão de resíduos sólidos e recuo de estruturas (pousadas, restaurantes e residências) ao longo da linha costeira (Ranieri *et al.*, 2016; Braga *et al.*, 2019).

Os estudos costeiros realizados na costa amazônica relacionados a dinâmica costeira apresentam avanços significativos na produção de mapeamentos detalhados e informações pertinentes para gestão e gerenciamento costeiro. Contudo, tendo como parâmetro as diretrizes na lei Estadual n.º.064/2020, é pertinente a produção científica fundamentada nas pesquisas realizadas para integração político-administrativa na zona costeira paraense.



Diante desse cenário, é fundamental desenvolver o conhecimento científico acerca dessas problemáticas, para que seja possível construir estratégias e soluções para mitigação num planejamento costeiro integrado. Com isso o objetivo geral desta pesquisa é analisar a variabilidade da linha de costa e identificar áreas suscetíveis à erosão na ilha de Atalaia, Salinópolis, Pará, entre os anos de 2002 a 2022.

METODOLOGIA

Visando alcançar os objetivos desta pesquisa, o estudo sobre a variação da posição da linha de costa (LC) como um indicador físico de erosão, foi conduzida em laboratório e, a delimitação da LC fora realizada partir da linha limítrofe entre a vegetação e das dunas ou dos mangues e os cordões arenosos praias (França, 2020). Ao longo dos anos, a linha de costa pode mudar de localização em decorrência de alterações nos processos de erosão, transporte e acúmulo de sedimentos. Sendo assim, a variação da posição da linha de costa é um dos mais importantes indicadores geomorfológicos de dinâmica costeira. É o reflexo da ação erosiva ou deposicional dos agentes costeiros, tais como as marés, ondas, correntes e ventos. Isso resulta em mudança nas formas de relevo, na cobertura vegetal, nos solos e na ocupação (Ranieri *et al.* 2015).

A primeira etapa da pesquisa consiste na consulta de referências em produções científicas como forma de sustentação teórica para os principais conceitos abordados ao longo deste trabalho (zona costeira, linha de costa, susceptibilidade a erosão), assim como auxiliam na construção de questões a serem trabalhadas na atualização de informações e assim alcançar os objetivos da pesquisa.

Por conseguinte, desenvolveu-se a etapa de laboratório a qual consiste na aquisição e no tratamento e interpretação de imagens, análise e interpretação de resultados, confecção de gráficos e de mapas temáticos. Foram adquiridas gratuitamente imagens georreferenciadas do satélite LANDSAT 7 ETM + pancromática para o ano de 2002 e LANDSAT 8 OLI + pancromática para o ano de 2022, oriundas do site do *United States Geological Survey* (USGS). Dessa maneira, fora realiza a análise da variação da linha de costa para ilha de Atalaia.



Quadro 1- Dados das imagens LANDSAT obtidas

Satélite	Sensor	Data	Bandas	GMT	Resolução espacial
Landsat 7	ETM	07/09/2002	5,4,3 + PAN	13:10:40	Multiespectral:30m; Pancromática: 15m
Landsat 8	OLI e TIRS	02/12/2013	4,5,6 + PAN	13:24:19	Multiespectral:30m; Pancromática: 15m
Landsat 8	OLI e TIRS	02/06/2022	4,5,6 + PAN	13:22:42	Multiespectral:30m; Pancromática: 15m

Fonte: USGS, 2023

As imagens LANDSAT foram manipuladas no software ArcMap 10.5. O primeiro passo consistiu na composição RGB das bandas 5, 4 e 3 do sensor ETM e nas bandas 4, 5, 6 do sensor OLI, a fim de serem realçadas as feições superficiais que auxiliam a interpretação das imagens. Ademais, as imagens foram fusionadas através da ferramenta *pansharpenig*, assim, a resolução espacial destas fora de 15m. Os metadados de cada imagem mostram os erros de georreferenciamento, utilizados para fazer os cálculos supracitados onde 1 pixel equivalente a 15m para o cálculo linear e 225m² para cálculo de área. Deste modo são calculados os erros geométrico lineares e de área das imagens, e os respectivos erros acumulativos.

Figura 2- Esquema de erro geométrico das imagens LANDSAT.

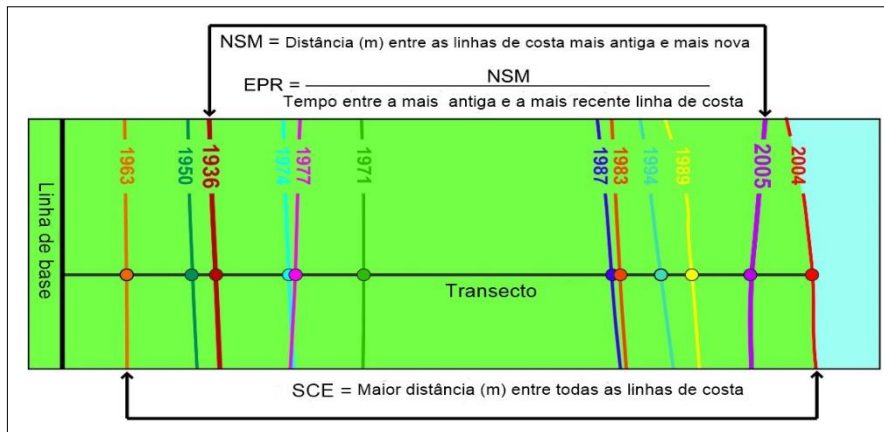
<p>1 Pixel – 15m</p> $x = 5,1$ $x = \frac{5,1}{15}$ <p>$x = 0,341 \text{ pixel}$</p> <p>Erro geométrico linear</p>	<p>1 Pixel – 225m²</p> $0,341 = x$ $x = 0,341 \cdot 225$ <p>$x = 76,7 \text{ m}^2$</p> <p>Erro geométrico areolar</p>
---	---

Fonte: Autores, 2023

Com base na interpretação visual de imagens LANDSAT 7 ETM (2002), LANDSAT 8 OLI (2013) e LANDSAT 8 OLI (2022), a linha de costa da ilha de Atalaia, no município de Salinópolis, foi vetorizada. Isso permitiu a identificação de áreas onde houve avanço e recuo da posição da LC e, conseqüentemente, de setores progradacionais e retrogradacionais. Para a análise da variação da linha de costa utilizou-se a DSAS 5.0 (*Digital Shoreline Analysis System*), esta é uma extensão que amplia as funcionalidades do software ArcGIS 10.5 permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa

das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa. Assim, a partir de uma série temporal de dados vetoriais de linha de costa, o DSAS gera transectos ortogonais à linha de costa com espaçamento definido pelo usuário e calcula estatísticas de taxas de mudança da linha de costa.

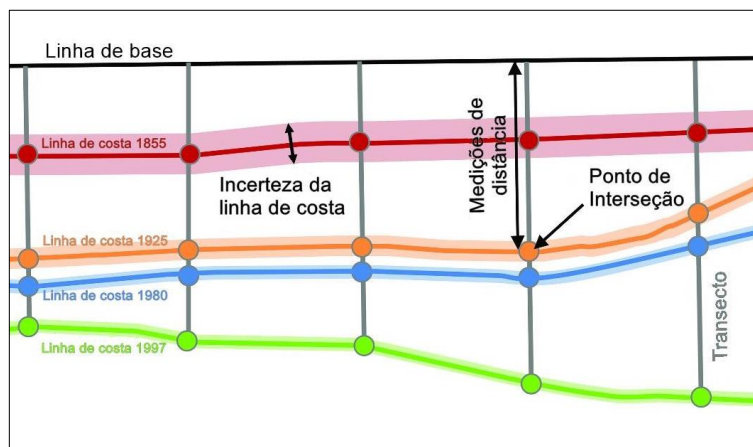
Figura 3 - Ilustração de estatísticas das linhas costeiras com as indicies NSM, EPR e SCE



Fonte: Himmelstoss, 2018

O EPR é calculado dividindo a distância do movimento da linha costeira pelo tempo decorrido entre a linha costeira mais antiga e a mais recente. O SCE, implica em um envelope de mudança da linha costeira em metros, não uma taxa. O valor SCE representa a maior distância entre todas as linhas costeiras que cruzam um determinado transecto, como a distância total entre duas linhas costeiras não tem sinal, o valor para SCE é sempre positivo. O NSM implica no movimento líquido da linha da costa, ou seja, é a distância entre a linha da costa mais antiga e a mais nova para cada transecto, portanto, as unidades estão em metros (Himmelstoss, 2018).

Figura 4 - Distância de medição da linha de base a cada ponto de interseção



Fonte: Himmelstoss, 2018



Outra técnica aplicada neste trabalho para medir as variações da linha de costa é o Método de Mudança de Polígonos (Apostolopoulos, D., & Nikolakopoulos, K., 2021), que considera as áreas, em vez de valores pontuais, para calcular os percentuais de erosão ou deposição. Este método usa duas linhas de costa de períodos diferentes para a avaliação e quantificação das áreas de erosão e deposição. Esta análise fora dívida em dois períodos, de 2002 a 2013 e 2013 a 2022. A partir dessa premissa, foi realizada a vetorização dos polígonos e efetuado o cálculo de área em metros quadrados (m²). Os índices utilizados na ferramenta DSAS na pesquisa foram NSM (Net Shoreline Movement), EPR (Endo Of Point Rate), SCE (Shoreline Change Envelope).

REFERENCIAL TEÓRICO

Para a compreensão dos dados, fora fundamental uma revisão bibliográfica. Sob essa ótica, a partir da concepção da Lei 7.661, inconsistências de implementação foram identificadas e, reformulou-se o conceito legal de Zona Costeira (ZC) no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II/1997). Com isso, os limites político-administrativos passaram a ser área da ZC. Atualmente, esta formulação considera zona costeira, na faixa marítima, como todo mar territorial até o limite de 12 milhas náuticas (22,2 km) a partir da costa, limite adotado pela Convenção da Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS), na faixa terrestre, é considerado zona costeira todo território dos municípios costeiros até as suas fronteiras internas (BRASIL, 2006).

Portanto, a zona costeira do Brasil é oficialmente constituída pelo mar territorial e pelo conjunto dos territórios dos municípios que integram o espaço da federação. Nesse sentido, para o desenvolvimento desta pesquisa, a compreensão de zona costeira dar-se-á conforme o PNGC II consolidada em 2006.

A Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC), instituída pela Lei Estadual n. °9.064/2020, estabeleceu a estrutura legal para os municípios se reconhecerem como pertencentes à zona costeira paraense, e identificou o crescimento da demanda de apoio a esses instrumentos por parte dos gestores municipais. O Pará possui 47 municípios em sua zona costeira distribuídos em cinco setores: Marajó ocidental; Marajó Oriental; Continental estuarino; Flúvio-marítimo e Costa atlântica paraense. Esta última é onde se encontra a área de estudo do presente trabalho.

Ao tratar-se do conceito de zona costeira, é imprescindível a compreensão da linha de costa (LC). Esta, pode ser definida com base em vários elementos, sendo os mais utilizados os



seguintes: (a) a linha d'água durante a baixamar ou no instante do levantamento de campo; (b) a linha de preamar de sizígia; (c) a linha de espraiamento máximo das ondas durante a maré alta; (d) a linha limítrofe entre a vegetação das dunas ou dos mangues e os cordões arenosos praiais; (e) o limite dos leques de lavagem que se estendem para o interior de lagunas e estuários; (f) a base ou topo de falésias (Forbes; Liverman, 1996).

O monitoramento e o mapeamento da linha de costa têm sido de essencial importância nos trabalhos acadêmicos voltados para a análise da dinâmica costeira e para subsidiar as políticas de gerenciamento costeiro. De acordo com França (2003), a dinâmica costeira é entendida como o conjunto de mudanças morfológicas que ocorrem na zona costeira, devido a atuação de fenômenos dinâmicos (erosão e acumulação sedimentar). Tais mudanças podem ocorrer em três escalas temporais: 1) curto período, que se refere à análise atual de indicadores de dinâmica costeira, que indicam mudanças sazonais na orla em um período de dias, semanas ou poucos meses; 2) médio período, que se refere ao estudo da variação da linha de costa em algumas décadas; 3) longo período, traduzido por mudanças morfológicas durante centenas a milhares de anos (Nordstrom, 1980).

Nesse contexto, a Linha de Costa (LC) é considerada um geoindicador ou indicador geomorfológico das mudanças costeiras. Esses indicadores são evidências deixadas pelos fenômenos físicos nos ambientes costeiros e estuarinos, resultando no desenvolvimento de feições morfológicas que estão diretamente relacionadas ao tipo de dinâmica em curso. Em caso de dinâmica erosiva, surgem formas de relevo como plataformas de abrasão, bancos de cascalho, afloramentos rochosos, falésias e promontórios (França & Souza Filho, 2003). Por outro lado, em dinâmicas acumulativas, as feições correspondentes incluem barras arenosas, restingas, amplas zonas de pós-praia, arcos praiais largos, planícies de maré, entre outras. Assim, a linha de costa emerge como um dos principais indicadores dinâmicos costeiros, refletindo a variabilidade de sua posição ao longo de um intervalo temporal, resultado de processos de acreção ou recuo (Souza, 2021).

A dinâmica física presente nos ambientes costeiros pode ser intensificada ou reduzida conforme os processos de erosão e acumulação. Essa característica, atribui à zona costeira a vulnerabilidade física em função de sua exposição a eventos de maior ou menor magnitude às variações da linha de costa.

Ranieri & El-Robrini (2016), elencam variáveis pertinentes para o estudo da suscetibilidade. O trabalho analisa as condições oceanográficas nas praias de no município de Salinópolis, relacionadas, também com a ocupação urbana. Para tanto, elaboram uma proposta

de classificação da orla a partir de dados marítimos do município, relacionando-os com alguns aspectos da ocupação da orla.

Braga (2019), vai a diante e analisa a vulnerabilidade física à ação do mar, os impactos socioambientais e as estratégias de adaptação relacionados na Orla costeira do Município de Salinópolis. O autor desenvolve a pesquisa partir de dois índices gerais de vulnerabilidade: Índice de Vulnerabilidade a ação energética do mar e o Índice de Vulnerabilidade à elevação do nível do mar. Para a determinação dos dois índices, usou-se variáveis: geológicas, geomorfológicas, declividade da costa, cota topográfica, altura de onda, amplitude de maré, variação da linha de costa, variação do nível do mar atual, utilizando séries temporais e futura, com base em cenários.

Dessa forma, o estudo da erosão costeira na perspectiva da variação temporal da linha de costa em escalas de médio e curto período, distribuídos e analisados na área de estudo, podem evidenciar a dimensão dos processos dinâmicos, em especial, o de erosão. Este último, auxiliará a compreensão dessas condicionantes na análise da suscetibilidade à erosão da ilha de Atalaia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da progradação e retrogradação da linha de costa (LC) na ilha de Atalaia, fora aferida com dados sobre o avanço linear médio da LC, o total de áreas de progradação e retrogradação, bem como sobre o recuo linear médio da LC e o total de taxas lineares e de área. Os resultados mostram que o avanço linear médio da LC é de 368,75 m, o que indica uma tendência de progradação. Além disso, o total de áreas de progradação é de 825.719 m², e a taxa linear de progradação é de 18,43 m/ano, enquanto a taxa de área de progradação é de 41.285 m²/ano.

Quadro 2 - Resultados quantitativos referentes à mobilidade da linha de costa e às áreas progradacionais e retrogradacionais da ilha de Atalaia, no intervalo de 2002 a 2022

Progradação		Retrogradação	
Avanço linear médio da LC (m)368,75 m	Total de áreas de progradação (m ²)825.719	Recuo linear médio da LC (m)87,80 m	Total de áreas em retrogradação (m ²)230.546
Taxa 18,43 m/ano	Taxa 41.285 m ² /ano	Taxa 4,39 m/ano	Taxa 11.527 m ² /ano

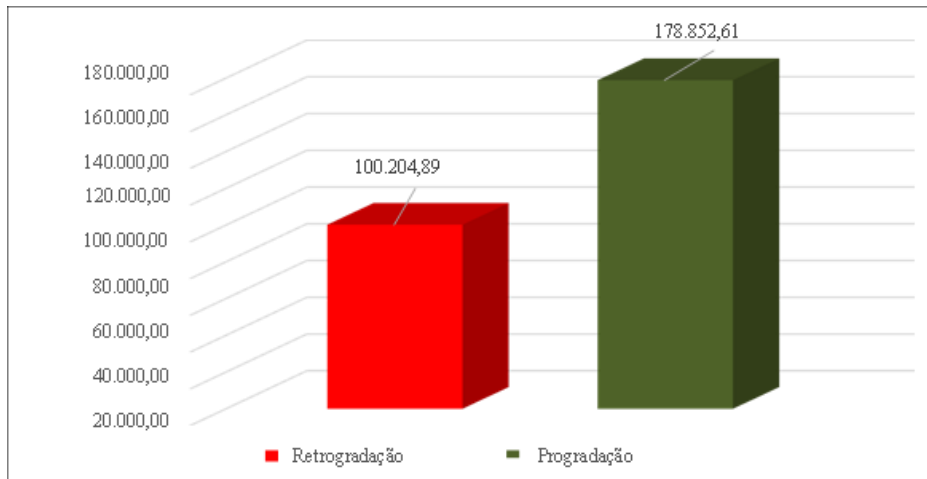
Fonte: Autores, 2023



A análise de mudanças de polígonos teve como resultado principal processos erosivos.

São registrados 130.341m² de áreas de retrogradação, enquanto 646.866m² de áreas em processos de progradação de 2002 à 2013. Não obstante, o período em questão, é importante para compreensão dos processos dinâmicos do início dos anos 2000 os quais posteriormente podem ser relacionados com dados atuais.

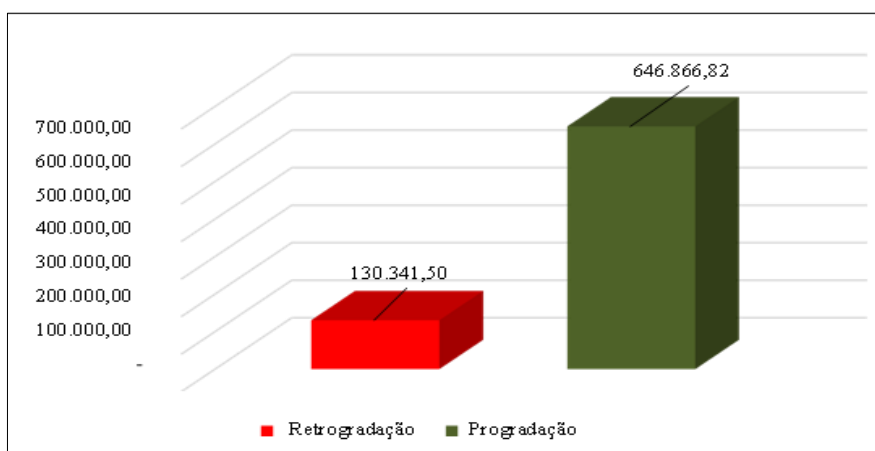
Gráfico 1 - Taxas de progradação e retrogradação entre 2002 e 2013, Ilha de Atalaia, Salinópolis



Fonte: Autores, 2023

Constata-se, a partir da análise do Gráfico 2 , que o processo de progradação da linha de costa continua sendo predominante na segunda década de investigação da pesquisa. São registrados 100.204 m² de áreas em retrogradação, enquanto 178.852 m² são áreas em progradação. No entanto, observação que, em relação as duas décadas estudadas (2002, 2013/ 2013, 2022) a proporção do último intervalo em comparação ao primeiro é menor.

Gráfico 2 - Taxas de progradação e retrogradação entre 2013 e 2022, Ilha de Atalaia, Salinópolis



Fonte: Autores, 2023

A partir da soma das áreas totais dos polígonos analisados, os resultados mostram que a área total de progradação da linha de costa na ilha de Atalaia é de 825.71943 m², enquanto a

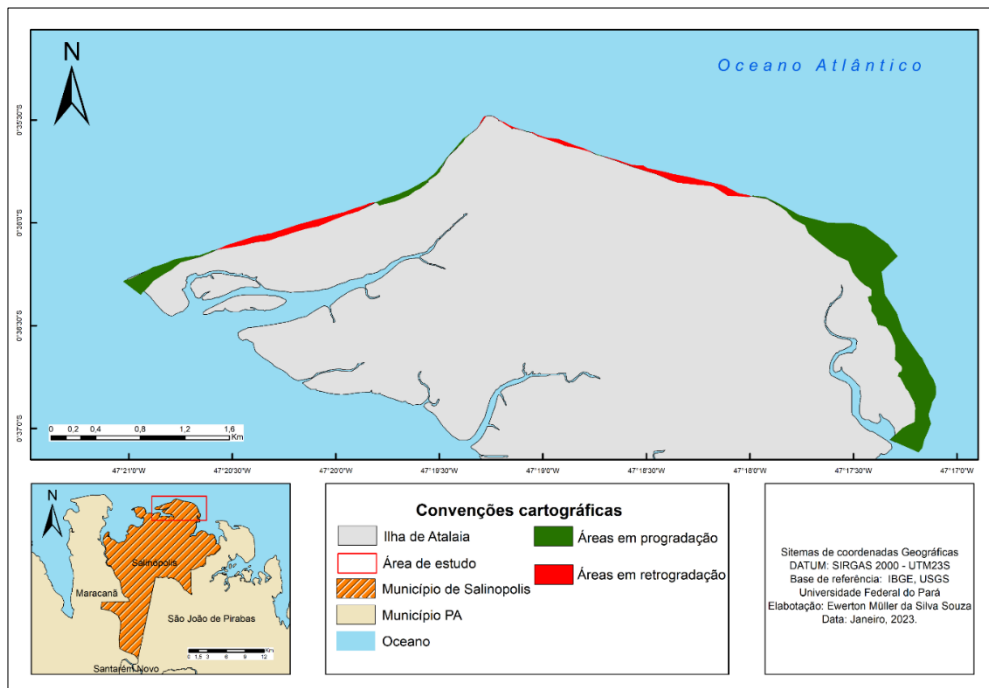


área total de retrogradação é de 230.546,39 m². Esses dados indicam que a ilha de Atalaia, nos últimos 20 anos, tem como principal fenômeno costeiro em sua LC a progradação.

As análises das áreas durante o processamento das imagens permitiram a investigação dos processos ocorrentes na LC da ilha de Atalaia em dois períodos. O primeiro de 2002 a 2013 e outro de 2013 a 2022. Essa divisão foi realizada em para compreender como ocorreram os processos físicos em momentos distintos nos últimos 20 anos. Identificou-se uma diferença na primeira década analisada em função da segunda, principalmente na porção Oeste da Ilha, também em relação as taxas (tanto linear, quanto de área) que foram mais notáveis na segunda década.

A partir do mapa de áreas progradacionais e retrogradacionais da ilha de Atalaia, entre 2002 e 2013 (Figura 5), é possível observar os dados proeminentes de progradação na porção leste da ilha, localidade esta que apresenta campo de dunas recobertas com restinga, elemento este associado a uma dinâmica de acumulo sedimentar na primeira década analisada. As localidades com menor variabilidade, estão sobre áreas construídas e de orla urbanizada, dessa forma apresentam pouca variação em função das estruturas de contenção existentes para a utilização comercial da orla.

Figura 5- Mapa de áreas progradacionais e retrogradacionais da ilha de atalaia, entre 2002 e 2022

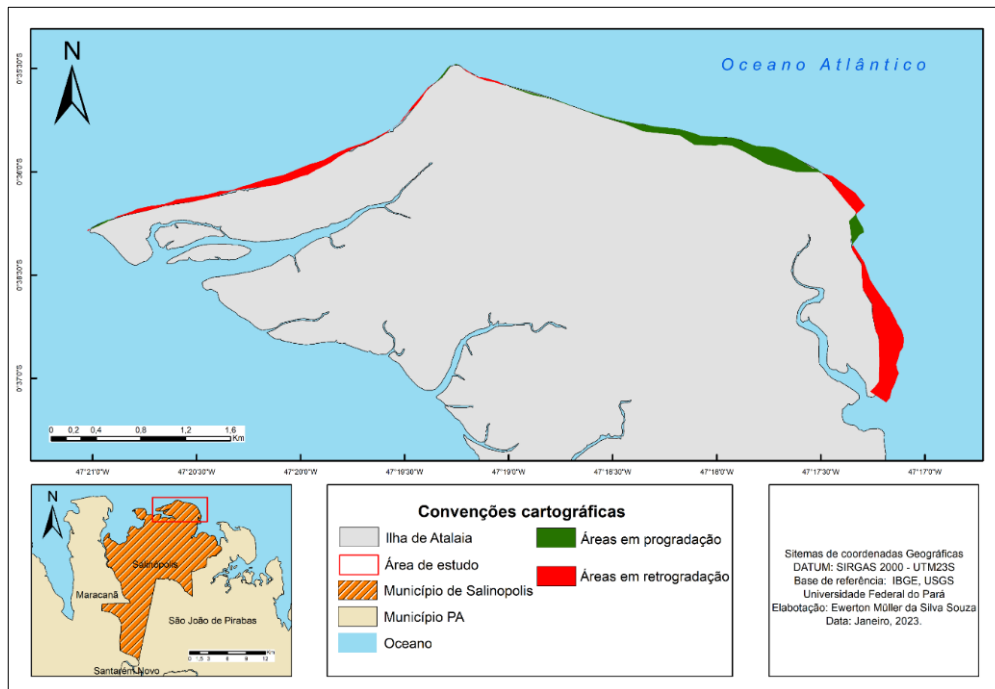


Fonte: Autores, 2023



A análise do mapa referente as áreas progradacionais e retrogradacionais da área de estudo entre 2013 e 2022 (Figura 6), apontam uma mudança significativa na porção leste, sendo identificado nessa área um significativo recuo da linha de costa, isto pode estar relacionado à alterações na dinâmica de maré associado a modificações antrópicas no espaço em função da ampliação imobiliária.

Figura 6 - Mapa de áreas progradacionais e retrogradacionais da ilha de atalaia, entre 2013 e 2022



Fonte: Autores, 2023

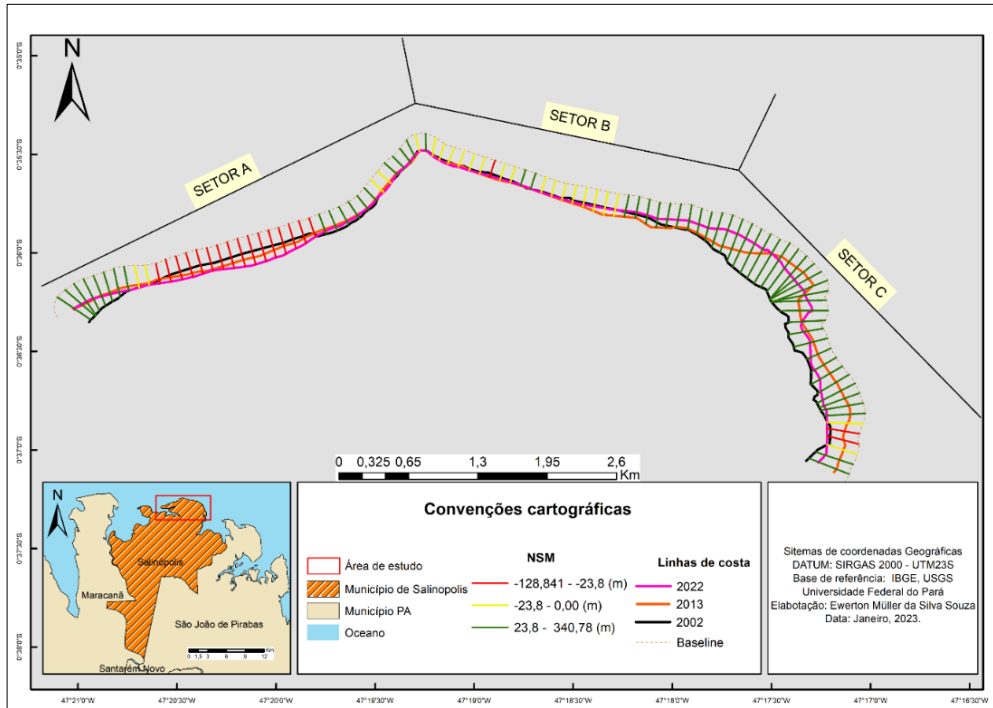
As análises realizadas com o auxílio do Digital Shoreline Analysis 5.0 forneceram os dados lineares da pesquisa, sendo possível identificar e correlacionar com a investigação de áreas. Os resultados dessas análises foram organizados segundo os indices NSM, EPR e SCE. Vale ressaltar, que para organização dos dados e melhor visualização, foram realizadas divisões em setores (A, B e C), estes correspondem: A) Setor Oeste; B) Setor Central e C) Setor Leste

O índice Net Shoreline Moviment (NSM) consiste em no movimento líquido da linha da costa, ou seja, é a distância entre a linha da costa mais antiga e a mais nova para cada transecto (Figura 7). Os resultados obtidos a partir deste índice mostraram que a predominância da progradação, principalmente no Setor Leste da ilha, onde é evidente o processo de sedimentação, em maior evidencia do período 2013 a 2022. Não obstante, são vistos de retrogradação no Setor Oeste, e estabilidade no Setor Central, este último é o local onde se concentram os atrativos comerciais na área da faixa praial a frente das dunas.

Os dados do índice NSM organizados no ambiente Excel, estão distribuídos em 17% negativo, o que indica uma baixa variação total da linha de costa mais antiga para a mais recente.

36,63% dos dados são de equilíbrio, salienta-se que estes indicam valores que estão dentro da margem de erro linear explicitada no trabalho. 45,54% são dados de progradação, logo compreende-se que a LC tivera processos de acreção.

Figura 7 - Mapa de índice Net Shorelines Movement para ilha de Atalaia, Salinópolis-PA.

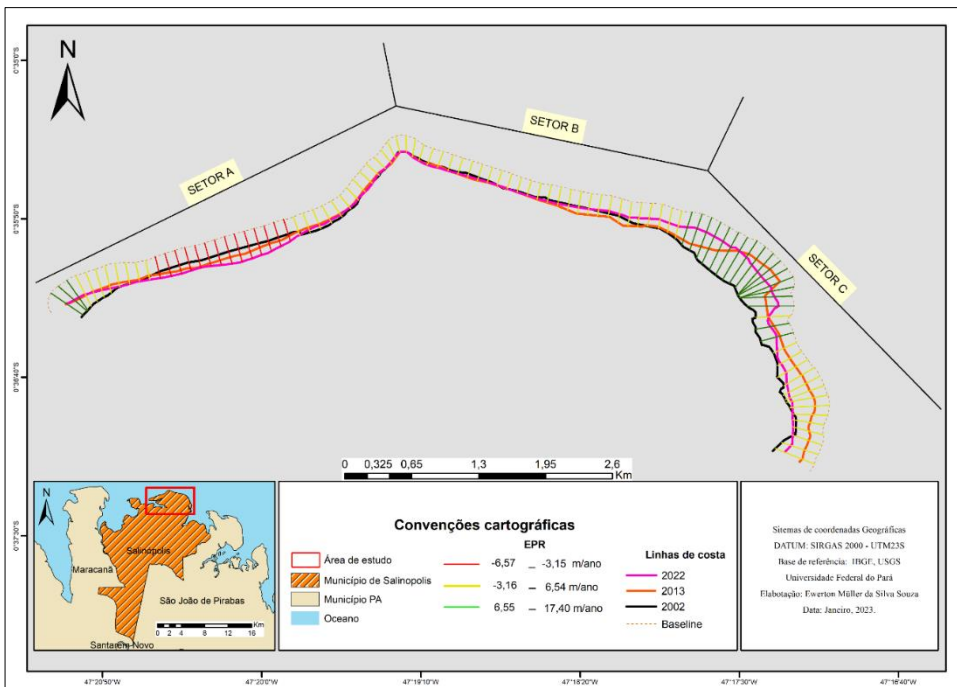


Fonte: Autores, 2023

A análise realizada pelo índice End of Point Rate (EPR), consiste no calculado dividindo a distância do movimento da linha costeira pelo tempo decorrido entre a linha costeira mais antiga e a mais recente (Figura 8). Os resultados mostram taxas variação anual média dos transectos (m/ano), sendo o os valores negativos de -6,57 a -3,15 (retrogradação), em maior evidencia no Setor Oeste. Já a distribuição de valores entre -3,16 a 6,54 (equilibrados), abrangem parte do Setor Oeste e predominam no setor central. Enquanto a progradação, com valores de 6,55 a 17,40 são notáveis no Setor Leste.

O índice Shoreline Change Envelope (SCE), implica em um envelope de mudança da linha costeira em metros, não uma taxa. Dessa forma, o valor SCE representa a maior distância entre todas as linhas costeiras que cruzam um determinado transecto (Figura 9). Os resultados mostram que as maiores distancias entre as LC estão localizadas no Setor Leste, sendo constatados valores entre 222,96 m a 408,32m.

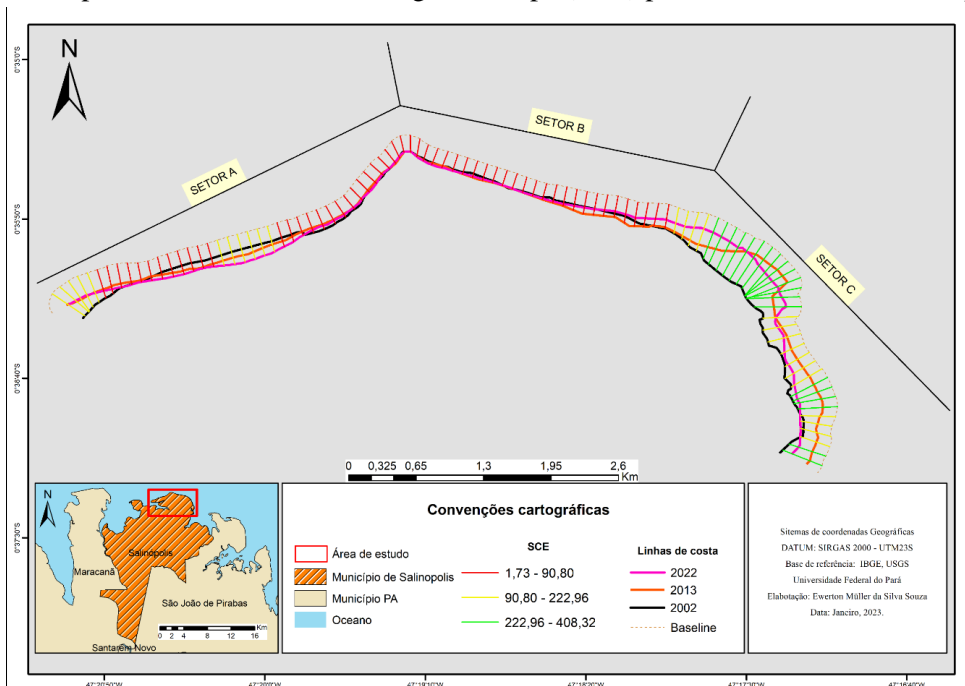
Figura 9 - Mapa de índice End of Point Rate (EPR) para ilha de Atalaia, Salinópolis-PA



Fonte: Autores, 2023

As distâncias intermediárias do SCE estão presentes em menor volume na LC da ilha do Atalaia, com valores entre 90,80 m a 222,96 m. Já os valores entre 1,73 m a 90,80 m se apresentam como a maior volume nos transectos investigados, estão em maior evidencia nos setores oeste e leste. A dinâmica da linha de costa analisadas por meio dos índices NSM, EPR e SCE permitem uma análise detalhada dos fenômenos que fazem parte da localidade estudada.

Figura 8 - Mapa de índice Shoreline Change Envelope (SCE) para ilha de Atalaia, Salinópolis-PA



Fonte: Autores, 2023



Onível de detalhamento dos dados por intermédio das ferramentas utilizadas classifica áreas com potenciais erosivos, como o setor B (central), onde se identifica a praia do Atalaia. Nesse perímetro há tendência erosiva na porção próxima ao setor C.

As tendências erosivas estão em áreas mais expostas aos processos dinâmicos de maré, como a refração de ondas as quais originam correntes longitudinais e conseqüentemente, tendem a diminuir no final da faixa praiial, ocasionando deposição de sedimento transportados longitudinalmente, como pode ser melhor corroborado pela sedimentação identificada no setor C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da variação da linha de costa na ilha de Atalaia, Salinópolis, demonstra um cenário alta variabilidade, principalmente no setor C, localizado na parte Oeste da ilha, porção esta com características físicas regionais particulares como a formação geomorfológica da costa com dunas móveis e vegetação de restinga. É importante salientar a configuração física local do município com alta amplitude de maré, topografia com cotas baixa (até 34m) e potencial energéticos das ondas.

A posição da linha de costa, é um indicador físico de erosão e foi estudada no intervalo temporal de 20 anos (2002 – 2022), através de imagens de satélite, demonstrando um comportamento diferenciado entre os setores da ilha. As taxas relativas as variações demonstram que o recuo linear médio fora de 87,80m, com taxa de 4,39m/ano.

Os setores A e B, correspondem a uma área com pouca variabilidade. Estes são compostos por áreas urbanas que estão em contato com mar na faixa de orla. Este tipo de ocupação acarretam a suscetibilidade de destruição das estruturas comerciais e residenciais, desse modo são empregadas infraestruturas de contenção em função da dinâmica física presente, conforme evidenciado na pesquisa.

Diante do arcabouço metodológico da pesquisa, identificou-se que as maiores taxas de variação da linha de costa da ilha de Atalaia ocorreram de 2002 a 2013. A partir da análise da mudança de polígonos constatou-se uma diferença de 79,85% de progradação em relação a retrogradação. Grande parte dessa variabilidade está localizada, também, no setor C.

A segunda década analisada, de 2013 a 2022 apresentou uma variabilidade menor em relação a primeira. A diferença da progradação em relação a retrogradação fora de 43,97%, isto fica evidente ao verificar o mapa de variação, onde mostra o setor mais dinâmico (Setor C), com menores variabilidades.

Desde o início do milênio, a urbanização do município já está consolidada e os efeitos da variação da linha de costa em alguns setores não representam apenas processos naturais, mas

também antrópicos. Nos setores A e B, a linha de costa apresenta avanços para faixa interna da orla, portanto, causando retrogradação costeira, no entanto, são trechos urbanizados com infraestruturas de contenções instaladas e isto tem proporcionado um recuo bem menos expressivo.

As áreas erosivas localizam-se em trechos pontuais, geralmente associadas a urbanização e isto pode ter relação com a maior dinamicidade erosiva. Na ilha de Atalaia, as ações antrópicas são evidentes, a supressão do sistema costeiro local proporciona uma menor proteção do litoral e dificulta o processo de progradação da linha de costa.

Devido à falta de um entendimento adequado por parte do público em geral acerca dos processos físicos que influenciam a configuração costeira da ilha de Atalaia, observa-se a autorização para a construção de residências e estabelecimentos hoteleiros em áreas da faixa litoral, o que leva a este empreendimento a suscetibilidade à ação energética da dinâmica costeira.

Desta forma, a pesquisa delinea-se como um subsídio para a melhoria de políticas públicas as quais considerem a dinamicidade local e regional das paisagens costeiras amazônicas. De mesmo modo, compreende-se que a metodologia apresentada pode fornecer aplicabilidades para outros trabalhos no âmbito costeiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adrielson Furtado et al. **Os efeitos das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico na zona costeira do nordeste paraense: expansão rodoviária, urbanização e atividade turística.** 2017.

BOAK, Elizabeth H.; TURNER, Ian L. **Shoreline definition and detection: a review.** Journal of coastal research, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.

BRAGA, Ronaldo Cruz; PIMENTEL, Márcia Aparecida Silva. **Índice de Vulnerabilidade Diante da Variação do Nível do Mar na Amazônia: Estudo de Caso no Município de Salinópolis-Pará** (Index of vulnerability faced with the variation of the sea level in the Amazon: case study in the municipality of salinópolis-Pará). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 2, p. 534-561, 2019.

DE FRANÇA, Carmenta Ferreira et al. **Erosão da orla costeira grande-bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores.** Geografia Ensino & Pesquisa, p. e20-e20, 2020.

DE GOUVEIA SOUZA, Celia Regina. **A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil.** Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

DE SOUZA NEGRÃO, Yago; SOUSA, Herilene Chaves; RANIERI, Leilanne Almeida. **Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 23, n. 2, p. 1264-1284, 2022.



- HIMMELSTOSS, Emily et al. **Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.0 user guide**. US Geological Survey, 2018.
- LINS-DE-BARROS, Flavia Moraes; MILANÉS, C. **Os limites espaciais da zona costeira para fins de gestão a partir de uma perspectiva integrada**. Gestão Ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas, v. 1, p. 22-50, 2020.
- MUEHE, D. (Org.). (2008). Nicolodi, J. L. Geomorfologia. In Zamboni, A. & Nicolodi, J. L. (Orgs.). **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, p. 23-41.
- MUEHE, D. C. E. H. et al. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 475, 2006.
- MUEHE, Dieter. **Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil**. Mercator-Revista de Geografia da UFC, v. 4, n. 7, p. 97-110, 2005.
- RANIERI, Leilane A.; MAÂMAR, EL-ROBRINI. **Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil**. Pesquisas em Geociências, v. 42, n. 3, p. 207-226, 2015.
- RANIERI, Leilane Almeida; EL-ROBRINI, Maamar. **Condição oceanográfica, uso e ocupação da costa de Salinópolis (Setor Corvina-Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 16, n. 2, p. 133-146, 2016.
- ROSA, Amanda Gama et al. **Avaliação da dinâmica de ocupação da terra em Salinópolis/PA com base no modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR)**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 7, p. 414-432, 2021.
- SILVA, Cleverson Guizan et al. **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa**. Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, p. 175-218, 2004.
- SILVA, M.G.L.; SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M. & EL-ROBRINI, M., 2000. **Shoreline changes in the Pescadores Estuarine beach**, Bragança Coastal Plain, Northern Brazil. In: Simpósio Brasileiro de Praias Arenosas, 1. Itajaí, 2000. Anais. Itajaí: ABEQUA: 184-185.
- MARTINS, Pedro Walfir et al. **Geomorphology, Land-use and Environmental Hazards in Ajuruteua Macrotidal Sandy Beach, Northern Brazil**. Journal of Coastal Research, p. 580-589, 2003.
- SOUZA, M.C. & ANGULO, R.J., 1997. **Variações temporais nas características morfológicas dos perfis praias em Itapoá - SC**. IN: VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Resumos Expandidos. Curitiba. Paraná: 142-146.