

## UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SENSORES REMOTOS PARA O MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA DA ILHA DE ALGODOAL/MAIANDEUA, LITORAL AMAZÔNICO

### USE OF DATA FROM REMOTE SENSORS TO MONITOR THE SHORELINE OF THE ALGODOAL/MAIANDEUA ISLAND, AMAZON COAST

### USO DE DATOS DE SENSORES REMOTOS PARA EL SUPERVISIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA DE LA ISLA DE ALGODOAL/MAIANDEUA, COSTA AMAZÓNICA

**Lohan Barbosa Baía**

Mestre em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, lohanbaia@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3891-9069

**Leilanne Almeida Ranieri**

Doutora em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, laranieri@ufpa.br

ORCID: 0000-0002-9870-4879

**RESUMO:** A análise de mudanças morfológicas em ambientes dinâmicos desempenha um papel crucial na compreensão da evolução deles. Um exemplo pode ser encontrado na Ilha de Algodoal/Maiandeuá, litoral amazônico. Ela abriga diversos ecossistemas sujeitos a rápidas alterações morfossedimentares devido aos fluxos fluviais e marítimos da Bacia Amazônica, principalmente em sua linha de costa, que está sujeita a processos erosivos e deposicionais de sedimentos. Além disso, a ilha apresenta expansão da ocupação humana devido ao seu potencial turístico. O objetivo deste artigo é demonstrar como a linha de costa evoluiu ao longo de 35 anos em sete áreas da ilha. Para esta análise foram utilizadas imagens do satélite Landsat capturadas em 1988, 2002, 2016 e 2023, processadas através do software ArcGIS 10.5 e da extensão *Digital Shoreline Analysis System v5.1*. Os resultados indicaram que a ilha apresenta diferentes processos costeiros. No setor oeste, a ilha se mantém estável, sem processos erosivos. No setor norte, a linha costeira está em processo de acreção, embora também apresente algumas áreas erosivas. Nos setores leste e sudeste, a ilha exibe comportamento tanto acrecional quanto erosivo. Em geral, observou-se que taxas de acreção e estabilidade costeira foram mais frequentes, sugerindo um impacto reduzido da erosão costeira. A ocupação humana ao longo da linha costeira da ilha é limitada, o que também contribuiu para a diminuição do risco de erosão. No entanto, a ilha é bastante influenciada por fenômenos oceanográficos, especialmente correntes litorâneas e marés, o que a torna vulnerável a possíveis impactos negativos no futuro.

**Palavras-chave:** Geomorfologia; Geoprocessamento; DSAS; Morfodinâmica; Zona Costeira.

**ABSTRACT:** The analysis of morphological changes in dynamic environments plays a crucial role in understanding their evolution. An example can be found on Algodoal/Maiandeuá Island, on the Amazon coast. It has several ecosystems subject to rapid morpho-sedimentary changes due to river and sea flows in the Amazon Basin, mainly on its coastline, which is subject to erosion and sediment deposition processes. In addition, the island is experiencing an expansion of human occupation due to its tourism potential. This article aims to demonstrate how the coastline has evolved over 35 years in seven areas of the island. For this analysis, Landsat satellite images were captured in 1988, 2002, 2016, and 2023, processed using ArcGIS 10.5 software and the Digital Shoreline Analysis System extension v.5.1. The results indicated that the island presents different coastal processes. In the western sector, the island remains stable, with no erosion processes. In the northern sector, the coastline is in the process of accretion, although it also shows some erosional tendencies. In the east and southeast sectors, the island exhibits both accretional and erosional areas. In general, it was observed that coastal stability and accretion rates were more frequent, suggesting a reduced impact of coastal erosion. The limited human occupation along the island's coastline also contributes to a reduced risk of erosion. However, the island continues to be greatly influenced by oceanographic phenomena, especially coastal currents, and tides, which make it vulnerable to possible negative impacts in the future.

**Keywords:** Geomorphology; Geoprocessing; DSAS; Morphodynamics; Coastal Zone.

**RESUMEN:** El análisis de los cambios morfológicos en ambientes dinámicos juega un papel crucial en la comprensión de su evolución. Un ejemplo se puede encontrar en la isla Algodoal/Maiandeuá, en la costa amazónica. Posee varios ecosistemas sujetos a rápidos cambios morfosedimentarios debido a los flujos fluviales y marinos en la Cuenca Amazónica, principalmente en su litoral, el cual está sujeto a procesos de erosión y deposición de sedimentos. Además, la isla está experimentando una expansión de la ocupación humana debido a su potencial turístico. El objetivo de este artículo es demostrar cómo ha evolucionado el litoral a lo largo de 35 años en siete zonas de la isla. Para este análisis se utilizaron imágenes satelitales Landsat capturadas en 1988, 2002, 2016 y 2023, procesadas mediante el software ArcGIS 10.5 y la extensión Digital Shoreline Analysis System v.5.1. Los resultados indicaron que la isla presenta diferentes procesos costeros. En el sector occidental la isla se mantiene estable, sin procesos de erosión. En el sector norte, el litoral se encuentra en proceso de acreción, aunque también muestra algunas áreas erosivas. En los sectores este y sureste, la isla exhibe un comportamiento tanto de acreción como de erosión. En general, se observó que las tasas de acreción y la estabilidad costera fueron más frecuentes, lo que sugiere un impacto reducido de la erosión costera. La ocupación humana a lo largo del litoral de la isla es limitada, lo que también contribuye a reducir el riesgo de erosión. Sin embargo, la isla continúa estando fuertemente influenciada por fenómenos oceanográficos, especialmente corrientes costeras y mareas, lo que la hace vulnerable a posibles impactos negativos en el futuro.

**Palabras clave:** Geomorfología; Geoprocésamiento; DSAS; Morfodinámica; Zona Costera.

## 1. INTRODUÇÃO

A linha de costa é definida como o contato oceano-continente, onde há alcance máximo das ondas e marés. Uma definição mais ampla de “zona de linha de costa” tem-se como uma faixa que se estende desde os limites das marés equinociais de sizígia até o início da faixa colonizada por vegetação (CONTI; RODRIGUES, 2011). Segundo Moore (2000), é possível determinar a posição da linha de costa de várias maneiras, através de uma série de critérios envolvendo métodos de extração e análise específicos, como linha de contato água/solo (LCAS), a linha de deixa (LD) e a linha de limite da vegetação (LV).

Sendo um elemento de delimitação ambiental dentro da zona costeira, a linha de costa tem contínuas alterações morfodinâmicas (SILVA et al., 2004) devido aos processos marinhos e continentais que atuam nesta zona, modelando o relevo local ao longo do tempo, seja através da erosão em determinados setores ou acreção costeira em outros. Logo, a linha de costa é considerada como um limite móvel e sua posição pode variar em todas as escalas (BOAK; TURNER, 2005), apresentando um comportamento efêmero, podendo mover-se em direção ao oceano ou ao continente rapidamente.

As taxas de avanço ou recuo da linha de costa obtidas por meio de sensoriamento remoto constituem um ótimo indicador para a determinação das tendências evolutivas de qualquer trecho do litoral. Por este motivo, o sensoriamento remoto é considerado como uma das tecnologias de coleta automática de dados mais bem-sucedidas para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global (MENESES; ALMEIDA, 2012), sendo útil para monitorar variações na linha de costa e fornecer diagnóstico de impactos reais, como as áreas em risco de erosão.

Em ambientes altamente dinâmicos, como os costeiros, os dados de sensores remotos funcionam como uma excelente ferramenta, principalmente a utilização de imagens multiespectrais de diferentes períodos, que permite uma análise multitemporal da geomorfologia, sendo possível estender informações pontuais para um contexto mais amplo, possibilitando o entendimento da evolução histórica desses ambientes (CHU et al., 2006; TREBOSEN et al., 2005). Os valores determinados para as taxas médias de variação da linha de costa devem ser ponderados, visto que representam a comparação entre duas ou mais situações distintas no tempo. Para uma boa interpretação dos dados, deve-se considerar a extensão do período analisado, a época do ano, o método, a escala, a densidade de dados, o tamanho da área e variabilidade do trecho costeiro estudado (RANIERI; EL-ROBRINI, 2015).

Segundo Albuquerque (2013), independentemente do cenário (erosão ou acreção costeira), as discussões na literatura têm se concentrado na confiabilidade das ferramentas e metodologias que podem ser aplicadas à quantificação das taxas de variação da linha de costa (m e m/ano). A utilização de métodos por sensoriamento remoto simplifica o monitoramento costeiro, permitindo um acompanhamento simultâneo das flutuações na linha de costa. A utilização destas técnicas que visam analisar o recuo e avanço costeiro podem ser aplicadas em estudos local, regional ou mesmo global, a depender da escala cartográfica ou nível de detalhe que se deseja obter. O método *Digital Shoreline Analysis System - DSAS* (THIELER et al., 2009) foi desenvolvido pelo Serviço Geológico Americano (USGS) e é executado no software ArcGIS. Ele permite que os usuários calculem estatisticamente as taxas de variação da linha de costa usando transectos que são traçados perpendicularmente ao trecho litorâneo monitorado.

No contexto regional, tem-se a região Norte abrangendo a maior parte do território amazônico brasileiro, cujo entendimento da evolução de sua zona costeira é de suma importância, pois atividades econômicas e ambientais são bastantes relevantes para o desenvolvimento dessa região, fundamentais para a ostreicultura, reprodução de espécies e dinâmica da linha de costa (DAS CHAGAS et al., 2019; LUNA et al., 2008; BATISTA et al., 2009). A nível local, tem-se o estado do Pará como detentor de uma ampla área do litoral amazônico.

O Estado do Pará, o segundo maior estado brasileiro, possui uma extensão litorânea de aproximadamente 600 km (SZLAFSZEIN, 2009). Nessa região, ocorrem setores com erosão, mas também outros com deposição significativa, graças ao aporte de sedimentos provenientes do Rio Amazonas e de demais estuários da região. A faixa litorânea abriga principalmente a zona fisiográfica do "Salgado Paraense", localizada no nordeste do estado, caracterizada por amplas praias arenosas, estuários diversos, extensas áreas de manguezais e dunas costeiras ativas e inativas em regiões de restinga. A Ilha de Algodual/Maiandeuá exemplifica a diversidade de ecossistemas encontrados nesta zona do litoral paraense, situando-se em uma área costeira rural designada como Área de Proteção Ambiental (APA Algodual/Maiandeuá), porém com um considerável potencial turístico no estado.

A insuficiência de pesquisas realizadas na Ilha de Algodual/Maiandeuá, aliada à sua importância turística e ambiental, foi um dos principais motivadores deste estudo, que se baseia na aplicação de métodos geoespaciais como uma ferramenta de geoprocessamento fundamental para analisar a evolução dos ecossistemas ao longo da linha costeira. Técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente empregadas em todo o mundo (VALÈRE et al., 2016; NASSAR et al., 2018; BACINO et al., 2020; SAM; GURUGNANAM, 2022), e também estão sendo cada vez mais utilizadas em estados costeiros do Brasil (FARIAS; MAIA, 2010; ALBUQUERQUE et al., 2013; MOREIRA et al., 2020; LEMOS; SOPCHAKI, 2020), incluindo o estado do Pará (CONTI; RODRIGUES, 2011; RANIERI; EL-ROBRINI, 2015; BAÍA; RANIERI; ROSÁRIO, 2021).

Portanto, o objetivo deste estudo foi compreender a dinâmica da linha costeira da Ilha de Algodual/Maiandeuá, localizada na Amazônia Oriental. Além disso, buscou-se identificar locais com erosão, estabilidade ou acreção da linha de costa através da análise multitemporal de imagens de satélite para um período de 35 anos. Devido a área de estudo ser uma APA, os impactos antrópicos de ocupação na linha de costa seriam mínimos em contrapartida aos processos oceanográficos. Desta maneira, partiu-se da hipótese de que trechos com maior exposição aos agentes físicos costeiros (ondas, marés, correntes) teriam maior mobilidade da linha de costa.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

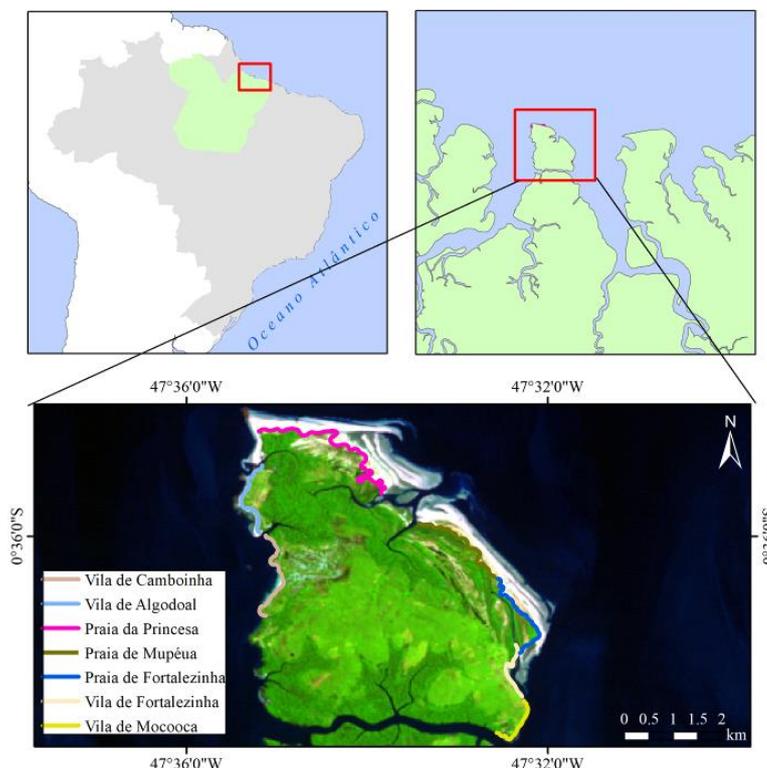
### 2.1. Área de Estudo

A Ilha de Algodual/Maiandeuá, município de Maracanã, está localizada na região Nordeste do Estado do Pará, conforme apresentado na Figura 1. Possui uma área de aproximadamente 562 km<sup>2</sup>, dividida em quatro comunidades: Algodual, Fortalezinha, Mocooca e Camboinha (VIANNA; MORGADO, 2001), que inclui as praias da Princesa, Mupéua e Fortalezinha. A ilha encontra-se a leste da desembocadura do Rio Amazonas, entre as Baías de Marapanim e Maracanã, banhada pelo Oceano Atlântico ao norte e pelo Canal da Mocooca ao sul. O acesso à ilha é feito através da vila de Marudá (município de Marapanim/PA), por meio de travessia com transporte fluvial regular.

O local está situado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Algodual/Maiandeuá, que é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável instituída pela Lei Estadual n.º. 5.621/90, de 27 de novembro de 1990. É uma das três unidades de conservação estaduais implantadas na planície costeira da região nordeste do Pará, gerenciada pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (Ideflor-Bio).

Dentro da APA, o acesso às vilas é realizado principalmente a pé, de carroça ou por meios fluviais, o que contribui para a preservação significativa do local. A Ilha de Algodual/Maiandeuá possui uma importância tanto ambiental quanto econômica, graças ao desenvolvimento do ecoturismo. Seus ecossistemas frágeis são compostos por dunas, lagos,

manguezais e terraços baixos, formados principalmente por materiais geológicos do Quaternário em solos de baixa fertilidade (BASTOS, 1996; RUIVO, 2005).



**Figura 1** – Mapa de localização da Ilha de Algodão/Maiandeuá, área de estudo, baseada na imagem do ano de 1988. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A ocupação na ilha é datada por Quaresma (2003) a partir da metade do século XX, por pescadores artesanais, os quais encontraram nos ecossistemas costeiros uma fonte de recursos pesqueiros, o que contribuiu de forma significativa para a fixação de pequenos pescadores. Durante a década de 1970, a ilha começou a atrair estudiosos, cujas pesquisas tinham o objetivo de perceber as características antropológicas, botânicas, ecológicas e geomorfológicas da ilha (BASTOS, 1996).

Conforme Ruivo (2005), a Ilha de Algodão/Maiandeuá possui temperaturas elevadas características do clima equatorial amazônico, com uma média anual de cerca de 27°C. A região apresenta uma alta precipitação pluviométrica, com valores anuais variando entre 2700 e 2400 mm. A distribuição das chuvas ao longo do ano é influenciada por dois períodos distintos: um período chuvoso (dezembro a maio), com precipitações intensas, especialmente no trimestre de fevereiro a abril, e outro período de chuvas reduzidas (período de estiagem) que abrange os demais meses do ano. O alto índice de precipitação durante os primeiros meses do ano está associado à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e seu deslocamento para o Hemisfério Sul nesse período (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Em março e abril ocorrem as marés de maior altura devido à associação do maior índice de precipitação e do Equinócio de primavera, podendo as macromarés alcançar alturas próximas a 6 m (RANIERI; EL-ROBRINI, 2015). As correntes de marés são as principais correntes costeiras, com velocidade máxima de 2 m/s na plataforma continental interna, durante a maré de sizígia (SEGUNDO, 2007). Já no lado estuarino da ilha, estas correntes são bidirecionais, atuando no sentido SE-NW durante a enchente e NW-SE durante a vazante, com intensidades médias de 0,71 e 0,63 m/s, respectivamente (SILVA, 2015).

De acordo com Geyer (1996), o nordeste paraense recebe ondas formadas a partir dos ventos alísios de NE, representando o regime de ventos dominantes durante o ano todo. A velocidade média anual dos ventos é de 4,50 m/s para o município de Maracanã (CPTEC, 2018).

## 2.2. Tratamento dos dados

A Ilha de Algodual/Maiandeuá foi dividida em sete setores: Vila de Camboinha, Vila de Algodual, Praia da Princesa, Praia de Mupéua, Praia de Fortalezinha, Vila de Fortalezinha, Vila de Mocooca (Figura 1). As imagens de satélite foram adquiridas previamente ortorretificadas, no formato GeoTIFF, projeção UTM, zona 23S e datum WGS-84, através do Google Earth Engine, utilizando a Coleção 2, Tier 2 e calibração da reflectância para topo de atmosfera (TOA) (Quadro 1). A composição colorida utilizada foi R6G5B4 para o Landsat 8 e R5G4B3 para o Landsat 7 e 5. Posteriormente, elas foram exportadas para o ArcGIS 10.5.

**Quadro 1** – Característica das imagens Landsat utilizadas no estudo. Dados de maré das datas de captura das imagens foram obtidas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Ano	1988	2002	2016	2023
<b>Satélite</b>	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8	Landsat 8
<b>Sensor</b>	MSS e TM	ETM+	OLI e TIRS	OLI e TIRS
<b>Data de Aquisição</b>	22/07/1988	11/10/2002	16/05/2016	23/07/2023
<b>Resolução Espacial</b>	Multiespectral: 30 m; Termal: 120 m	Multiespectral: 30 m; Pancromática: 15 m	Multiespectral: 30 m; Pancromática: 15 m	Multiespectral: 30 m; Pancromática: 15 m
<b>Maré</b>	00:09 - 4,1 m 06:45 - 1,4 m 12:39 - 3,9 m 19:02 - 1,5 m	04:09 - 1,1 m 09:36 - 4,6 m 16:43 - 0,8 m 22:24 - 4,2 m	03:36 - 4,0 m 09:58 - 1,5 m 15:54 - 4,0 m 22:32 - 1,4 m	04:45 - 1,1 m 10:19 - 4,4 m 17:04 - 1,0 m 22:51 - 4,3 m
<b>Estação climática</b>	Seco	Seco	Intermediária	Seco

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A referência de delimitação das linhas de costa foi a Linha de Limite de Vegetação (LV), destacada por Moore (2000). Para esta pesquisa, o parâmetro LV, foi mais facilmente detectável, tendo em vista que o estudo teve o objetivo de analisar padrões a longo prazo (mais de 10 anos), cuja variação da vegetação tende a apresentar tendências mais robustas.

No contexto deste estudo, foram criados arquivos shapefiles (*polylines*) para representar a linha de costa durante os anos de análise. Além disso, foi estabelecido um referencial fixo na área oceânica denominado de linha de base (*baseline*), a partir da qual foram traçados os transectos para realizar os cálculos de variabilidade. A digitalização das linhas de costa foi realizada utilizando o software *ArcView*, que faz parte do pacote de softwares *ArcGIS 10.5*.

Uma vez digitalizados os arquivos vetoriais multitemporais (*polylines* de 1988, 2002, 2016 e 2023) para a região de estudo, foi utilizada a extensão *DSAS 5.1* de Thielier; Martin; Ergul (2003) para calcular as taxas de variação entre os vetores. O Sistema de Análise Digital da Linha de Costa – *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* calcula as estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da linha de costa (THIELER; MARTIN; ERGUL, 2003), sendo de grande utilidade para o gerenciamento costeiro e os estudos sobre erosão e acreção costeira.

O DSAS permite ao usuário calcular com maior confiabilidade as taxas de mudança da linha de costa a partir de uma sequência de *polylines* devidamente posicionadas. Esse sistema gera transectos ortogonais à linha de base (*baseline*), que é definida pelo usuário. Através da medição da distância em metros entre cada *polyline* e a linha de base, é possível calcular as taxas de variação da linha de costa ao longo do tempo. Esses cálculos são realizados utilizando métodos estatísticos distintos, proporcionando uma análise mais precisa das mudanças costeiras.

Nesta pesquisa, as mudanças de posições da linha de costa foram avaliadas usando duas abordagens diferentes: *Net Shoreline Moviment (NSM)*, que calcula a maior distância (m) entre o ano mais antigo ao mais recente analisado e, *End Point Rate (EPR)*, que evidencia a taxa de variação anual (m/ano) entre o período analisado. Ao final da aquisição foi exportado os valores para o software Excel para gerar os valores médios, com o intuito de compreender a dinâmica geral que cada setor estudado. A metodologia do processamento das imagens pode ser detalhada na Figura 2.

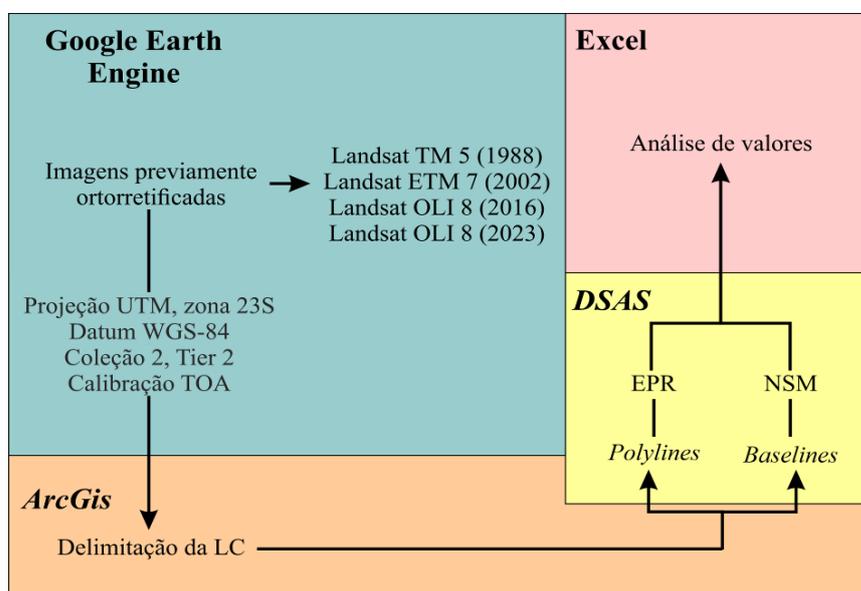


Figura 2 – Fluxograma do processamento das imagens. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Utilizou-se o intervalo entre cada ano para obter os valores entre períodos (1988 - 2002; 2002 - 2016; 2016 - 2023) e a seguinte premissa foi adotada para a interpretação dos dados: valores positivos maiores que 30 m indicaram um processo de acreção, ou seja, um avanço da linha de costa; valores negativos menores que -30 m indicaram um processo de erosão, ou seja, recuo da linha de costa. Dados dentro do intervalo de  $\pm 30$  m foram interpretados como indicativos de estabilidade da linha de costa, visto que as imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa têm resolução espacial de 30 m, portanto a adoção deste intervalo garante maior confiabilidade aos resultados obtidos.

Adicionalmente a isto foram realizadas visitas na área de estudo para validação dos resultados em janeiro de 2019, agosto de 2022 e julho de 2023. Os indicadores de Bush et al. (1999) foram utilizados como base nas observações visuais, sendo eles subdivididos em 3 grupos: erosão severa, erosão e acreção/estabilidade (Quadro 2).

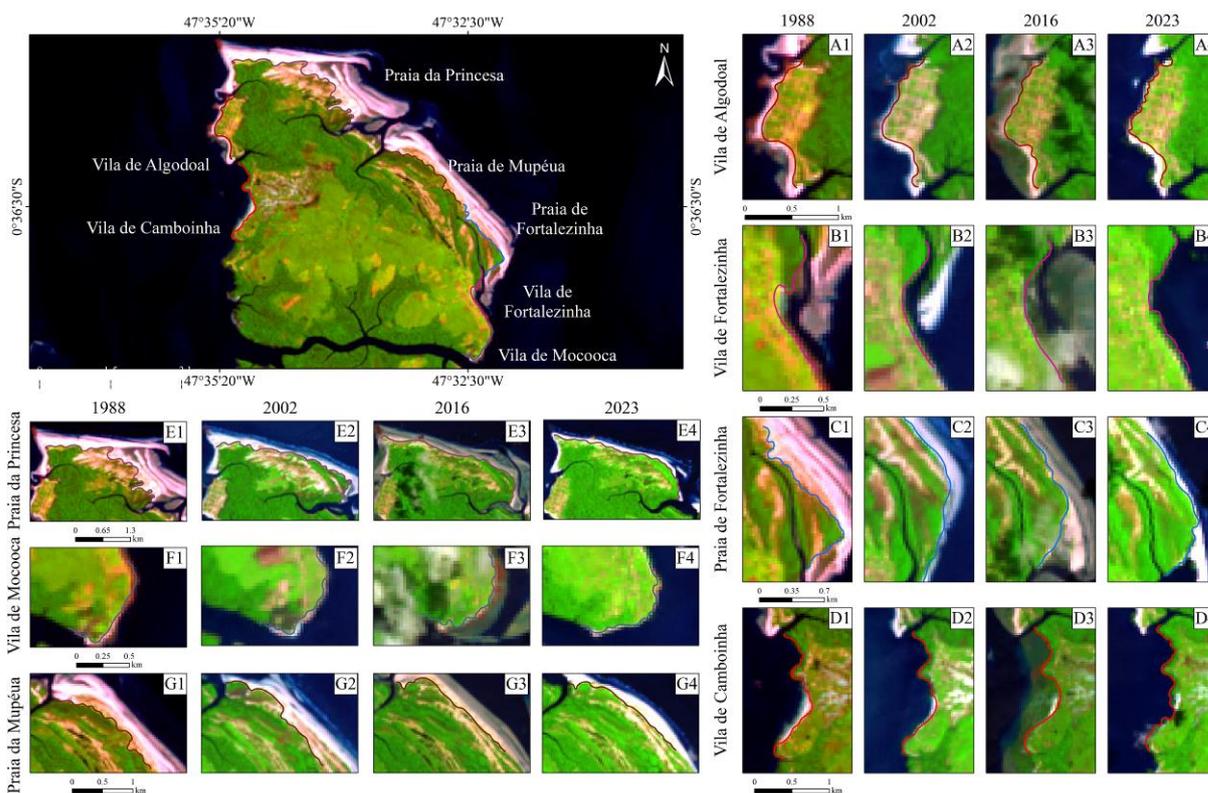
**Quadro 2** – Subdivisão dos indicadores de erosão costeira.

<b>Erosão severa</b>	1 - Ausência de dunas de transposição; 2 - escarpas ativas por ondas ou dunas remanescentes; 3 - canais de maré expostos na zona de espraiamento; 4 - ausência de vegetação; 5 - obras de engenharia costeira presentes na praia ou offshore; 6 - escarpamento do pós-praia; 7 - edificações e infraestruturas urbanas danificadas;
<b>Erosão</b>	8 - Dunas escarpadas ou rompidas; 9 - escarpas íngremes e depósitos de talús; 10 - turfa, lama ou troncos de árvores expostos na praia; 11 - praia estreita ou com área coberta por espraiamento de ondas; 12 - presença de leques de transposição, aberturas artificiais (como corte de estradas); 13 - vegetação efêmera ou tombada;
<b>Acreção/ Estabilidade</b>	14 - Dunas robustas e vegetadas; 15 - escarpa vegetada com rampa estável; 16 - praia larga e berma bem desenvolvido; 17 - ausência de leque de transposição; 18 - vegetação bem desenvolvida, arbustos de dunas, grama pioneira de praia.

Fonte: BUSH et al. (1999).

**3. RESULTADOS**

As linhas de costa extraídas das imagens de 1988, 2002, 2016, 2023 para os sete setores estudados estão representadas na Figura 3. Nota-se que as maiores variações ocorreram nas praias da Princesa e de Fortalezinha e, as menores variações ocorreram na Vila de Camboinha.



**Figura 3** – Mapa evidenciando a delimitação de cada linha de costa com seus respectivos anos. Vila de Algodual (A), Vila de Fortalezinha (B), Praia de Fortalezinha (C), Vila de Camboinha (D), Praia da Princesa (E), Vila de Mocooca (F) e Praia da Mupéua (G). Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

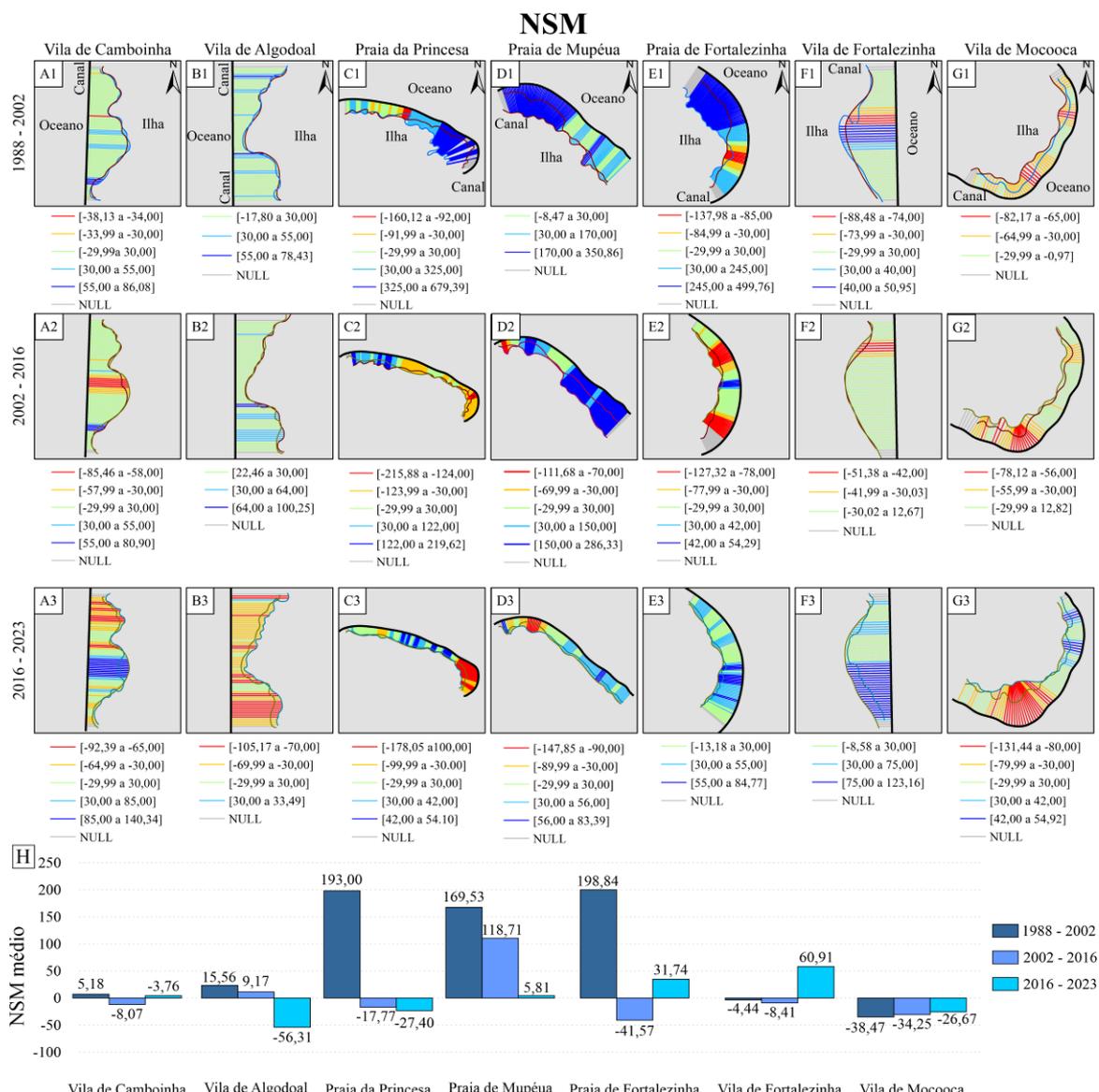
No que concerne à Vila de Camboinha, observa-se que esta manteve-se estável no início do estudo e recentemente há o aumento de pequenas áreas de acreção de até 140 m e 19,54 m/ano e erosão de até -92 m e -12,86 m/ano (2016 - 2023) (Figuras 4 e 5). Nela é evidente a ocorrência de uma planície de maré lamosa com manguezal bem desenvolvido (Figura 6A).

A Vila de Algodual, em sua maior parte, apresentou estabilidade de  $\pm 30$  m (Figuras 4 e 5). As taxas de variação foram de 7,37 m/ano (2002 a 2016) à -14,64 m/ano (2016 a 2023). Nesta vila foram observados in loco alguns indicadores de estabilidade costeira, como: mangue

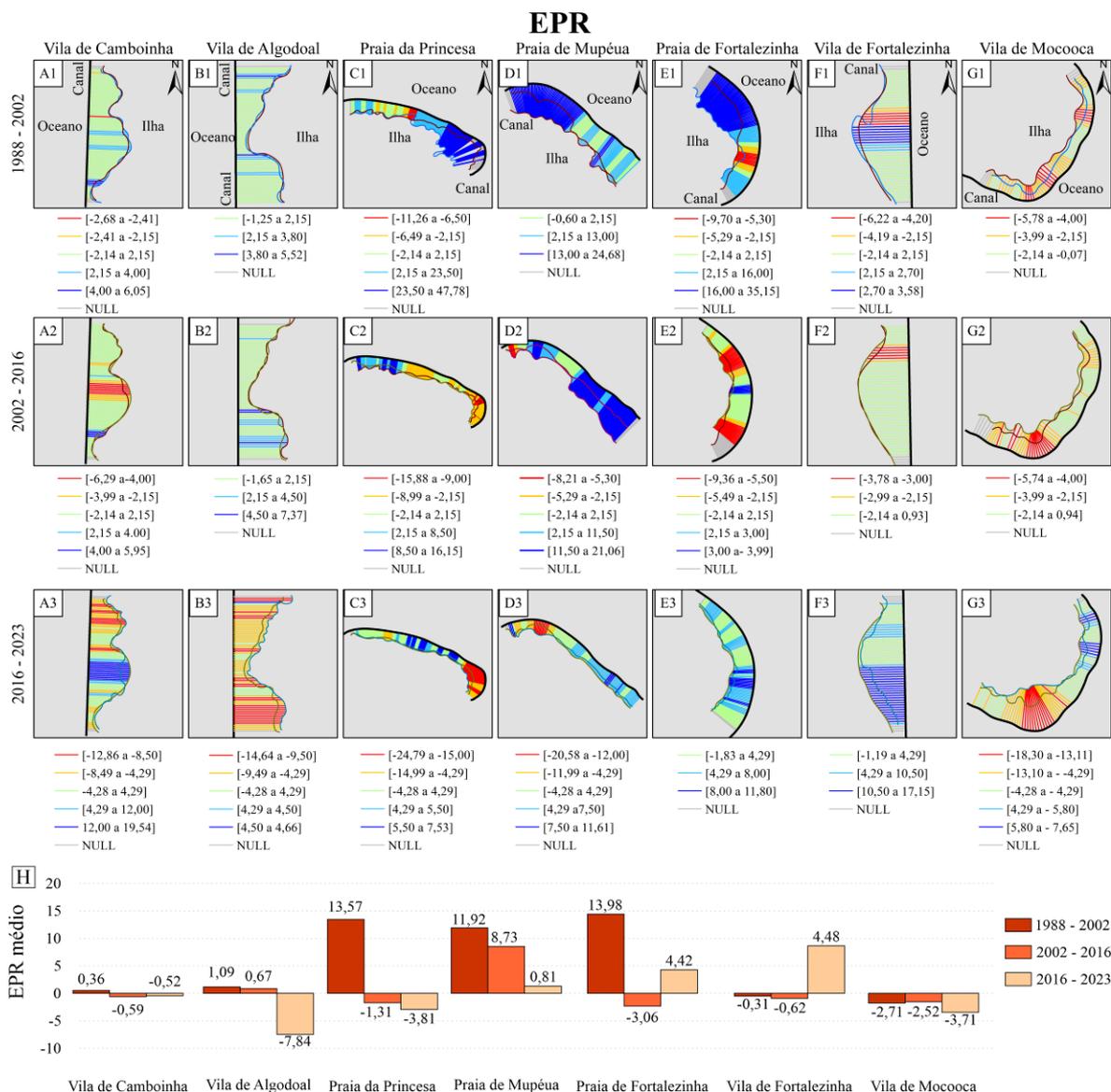
jovem e grama pioneira colonizando a planície arenosa de maré (Figura 6B), mas também indicativos da erosão atual, como: escarpas arenosas erodidas e tombamento de vegetação (Figura 6C).

A Praia da Princesa foi a área que apresentou os maiores valores de acreção de até 679 m e 47,78 m/ano (1988 a 2002) (Figuras 4 e 5), mas seguido do aumento da erosão em direção ao canal de até -215,88 m e -15,88 m/ano (2002 - 2016). Na porção noroeste da praia, pôde-se observar indicadores de erosão como: dunas escarpadas (Figura 6D) e praia coberta pelo espraiamento de ondas.

No mesmo segmento de linha de costa, mais ao sudeste, tem-se a Praia de Mupéua, com predominância de estabilidade e acreção costeira de até 286,33 m e taxa de 21,06 m/ano (2002 - 2016) (Figuras 4 e 5). Trata-se da praia mais paradisíaca da ilha, com dunas frontais semivegetadas, embora escarpadas na divisa com a Praia da Princesa, onde um trecho erosivo foi mapeado de -30 a -147,85 m (2016 - 2023). Nesta divisa também está o canal de maré mais largo que intercepta a ilha, cuja hidrodinâmica é elevada, erodindo as margens (Figura 6E).



**Figura 4** – Variação Espacial da linha de costa pelo método NSM (m) obtida para a Vila de Camboinha (A), Vila de Algodual (B), Praia da Princesa (C), Praia de Mupéua (D), Praia de Fortaleza (E), Vila de Fortaleza (F) e Vila de Mocooca (G), para os períodos de 1988-2002, 2002-2016 e 2016-2023. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).



**Figura 5** – Taxa de variação espacial da linha de costa pelo método *EPR* (m/ano) obtida para a Vila de Cambinho (A), Vila de Algodão (B), Praia da Princesa (C), Praia de Mupéua (D), Praia de Fortalezinha (E), Vila de Fortalezinha (F) e Vila de Mocooca (G), para os períodos de 1988-2002, 2002-2016 e 2016-2023. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A Praia de Fortalezinha se estende na forma de um esporão arenoso, apresentando aumento de erosão na linha de costa de até -127 m e taxa de -9,36 m/ano (2002 - 2016) (Figuras 4 e 5). Esta praia fica coberta pelo espraiamento de ondas durante grandes preamares de sizígia e tem a hidrodinâmica intensificada pela presença de um canal de maré adjacente à vila, que se estende por trás do esporão (Figura 6F).

Em relação à Vila de Fortalezinha, verificou-se comportamento estável principalmente nas extremidades norte e sul (Figura 4 e 5), com vegetação bem desenvolvida na linha de costa (Figura 6G), inclusive em escarpas arenosas, enquanto na parte central ocorreu processo de recuo da linha de costa de até -88 m e taxa de -6,22 m/ano (1988 - 2002); e avanço de até 123 m e taxa de 17,15 m/ano (2016 - 2023).

Por fim, a Vila de Mocooca tem erosão se expandindo ao sul de até -131 m e -18,30 m/ano (2016 - 2023) (Figuras 4 e 5), com presença de escarpas íngremes formadas em falésias e tombamento de vegetação (Figura 6H).

Os valores médios obtidos através do Excel revelam as seguintes tendências para as diferentes áreas de estudo (Figura 4H): (1) Vila de Camboinha manteve-se estável durante os três períodos de estudo; (2) Vila de Algodual permaneceu estável nos dois primeiros períodos de estudo, mas recentemente experimentou um aumento no processo erosivo; (3) a Praia da Princesa teve o maior evento de acreção no primeiro período, seguido por dois períodos de estabilidade; (4) a Praia de Mupéua apresentou eventos de acreção ao longo dos períodos estudados, com uma diminuição na taxa de sedimentação; (5) a Praia de Fortalezinha teve um comportamento distinto em cada um dos três períodos de estudo: acreção no primeiro, erosão no segundo e uma leve acreção no terceiro período; (6) a Vila de Fortalezinha permaneceu estável nos dois primeiros períodos, mas experimentou um evento de acreção no último período; (7) a Vila de Mocooca registrou uma diminuição na erosão ao longo dos três períodos, permanecendo estável recentemente. A taxa de sedimentação (Figura 5H) seguiu o mesmo padrão de distribuição observado na Figura 4H.



**Figura 6** – Extensa planície de maré lamosa com vegetação de mangue bem desenvolvida (indicativo de acreção/estabilidade costeira) na Vila de Camboinha (A). Colonização de vegetação em meio à planície de maré areno-lamosa (acreção/estabilidade costeira) (B) e na linha de costa da Vila de Algodual, com tombamento parcial de árvores e construções em palafitas (erosão costeira) (C). Dunas frontais escarpadas na linha de costa da Praia da Princesa (indicativo de erosão) (D). Erosão nas margens do canal de maré que intercepta a praia de Mupéua (E). Ramificação de um canal de maré entre a Vila e Praia de Fortalezinha (F). Cobertura vegetal bem desenvolvida na linha de costa da Vila de Fortalezinha (acreção/estabilidade costeira) (G). Escarpa arenosa/falésia erodida na Vila de Mocooca (H). Fotografias retiradas em: 01/01/2019, 20/08/2022 e 12/07/2023. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

#### 4. DISCUSSÃO

As imagens obtidas através de sensoriamento remoto são frequentemente empregadas na modelagem de processos, tanto naturais, como mudanças climáticas, variações na linha de costa e desertificação, quanto antrópicos, como poluição, desmatamento e expansão urbana (SOUZA, 2010). No contexto da Ilha de Algodual/Maiandeuá, os fatores antrópicos têm tido um impacto limitado nas alterações espaciais ao longo da linha costeira. Aqui, predominam os efeitos dos processos físicos naturais, notadamente a influência da hidrodinâmica dos canais de marés que intersectam a ilha e a propagação das ondas nas praias oceânicas. A dinâmica estuarina exerce um controle significativo, e a influência das ondas de direção nordeste atua na parte mais exposta da costa, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento das praias na costa norte do Brasil (GEYER et al., 1996). Portanto, mesmo que a ocupação ao longo da linha costeira da ilha seja limitada, ela é profundamente influenciada pelos fenômenos fluviomarinhos. Esse comportamento propicia o desenvolvimento de planícies lamosas e crescimento do manguezal para a região interna dos estuários (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996).

A Vila de Camboinha e Algodual apresentaram estabilidade costeira até 2016. Ambas as vilas estão situadas no lado oeste da ilha e são banhadas pela Baía de Marapanim. Segundo as observações de Borba (2011) e Baía; Ranieri e Rosário (2021), as correntes de maré vazante predominantes na baía fluem principalmente em direção a essas vilas. Esse fenômeno pode ter contribuído para a ocorrência de erosão na porção norte de Camboinha, com o transporte dos sedimentos erodidos em direção à Vila de Algodual, observado até 2016. Isso, por sua vez, contribuiu para a relativa estabilidade costeira dessa última vila, pelo menos no período que se estende de 1988 a 2016.

Além disso, é possível observar o desenvolvimento da vegetação na parte central da Vila de Algodual, juntamente com a presença de clastos de laterita em algumas áreas que podem funcionar como uma plataforma de abrasão (WOLANSKI, 2007; POATE et al., 2018) até o ano de 2016 (Figura 7A). Essa plataforma reduz a energia das ondas que atingem a costa, favorecendo a deposição de sedimentos na região ao longo desse período. No entanto, é importante destacar que, assim como as ondas têm características construtivas, elas também possuem uma natureza destrutiva, sendo este processo mais ativo durante a maré alta. Nesse contexto específico, as ondas têm uma maior capacidade de mobilizar sedimentos, extrair vegetação e retrabalhar os clastos lateríticos durante esse estágio (RANIERI; ROBRINI, 2016; TESSLER; MAHIQUES, 2009), resultando em uma diminuição da área desses ambientes, como pode ser observado para o ano de 2020 (Figura 7B). Sendo assim, os resultados médios indicaram que a Vila de Algodual apresentou erosão significativa durante o último período (2016 a 2023).



**Figura 7** – Evolução das plataformas lateríticas de abrasão (marrom) e da vegetação de manguezal (verde) para os anos de 2016 (A) e 2020 (B). Fonte: Google Earth Pro.

Nas praias da Princesa e de Mupéua (Figura 8A e 8B), foi observada uma notável estabilidade e crescimento na faixa costeira, com exceção das áreas próximas ao canal de maré que as divide. Ao longo do tempo, é evidente que a linha costeira dessas praias se tornou mais linear. Essa configuração geográfica é característica da deriva litorânea, impulsionada por correntes longitudinais geradas pelas ondas. Tanto as ondas quanto a maré desempenham papéis cruciais na divisa das duas praias. Nessa região, foi possível observar uma intensa erosão durante o último período estudado, devido à forma meândrica do canal. Isso ocorre de forma semelhante aos canais meandantes, pois esse leito estuarino apresenta uma considerável mobilidade sedimentar, influenciada pelo sistema de macromarés semidiurnas predominante na região norte (DALRYMPLE; CHOI, 2007) e pela influência da corrente de deriva, responsável pela erosão na foz do canal, transportando os sedimentos para sudeste da Praia de Mupéua.

Além disso, segundo Silva (2015), as correntes costeiras nessa área são bidirecionais, fluindo no sentido SE-NW durante a maré enchente e NW-SE durante a maré vazante. Destaca-se que as correntes mais vigorosas ocorrem durante a enchente e no período chuvoso, possivelmente devido à influência predominante dos ventos alísios de NE, responsáveis por gerar as ondas. Apesar da dinâmica costeira em ambas as praias, as áreas de erosão foram relativamente pequenas. Isso se deve à presença de restinga e vegetação em dunas costeiras que se estendem por ambas as praias, conforme apontado por Bastos (1996). Essa vegetação desempenha um papel importante ao dificultar a movimentação dos depósitos sedimentares, contribuindo para a proteção da linha costeira.

A Praia da Fortalezinha (Figura 8C e 8D) se destaca por apresentar a maior dinâmica costeira e o maior nível de acreção na linha de costa. A deposição de areia nessa praia provém do transporte de sedimentos do oceano e da deriva litorânea, que ocorre no sentido norte-sul, fenômeno observado em outras regiões ao longo da costa brasileira (RODRIGUES, 2017; BARRA et al., 2022; MORAIS, 1980). Durante o primeiro e o terceiro períodos de estudo, essa região registrou ganho líquido de sedimentos, indicando um comportamento predominantemente

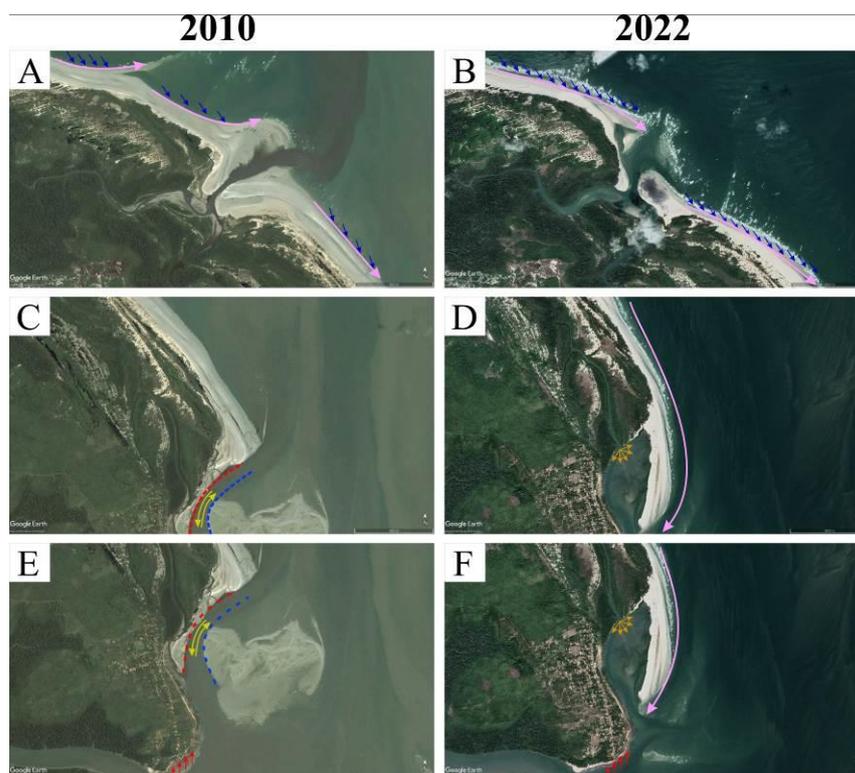
de avanço costeiro. No entanto, no segundo período de estudo, foram identificados pontos erosivos significativos ao longo do perfil costeiro. Esse fenômeno pode ser atribuído à formação de um canal nesse período, com a parte convexa localizada em um dos pontos onde ocorreu a maior erosão ao longo da praia (NICHOLS, 2009). No entanto, essa configuração na porção sul mudou no terceiro período devido a presença de uma barra arenosa, desenvolvida por influência da corrente de deriva, que desempenhou um papel fundamental ao atuar como uma barreira de proteção contra a dinâmica causada pelas marés enchentes e vazantes do canal. Barreiras naturais podem criar as chamadas zonas de sombra, após amortecimento da energia de ondas e correntes nas estruturas naturais (FINKELSTEIN, 1981). Com o amadurecimento da barra arenosa, houve uma maior estabilidade na praia, o que permitiu que a vegetação avançasse ao longo da linha de costa, contribuindo para a proteção e manutenção da área.

A frente da Vila de Fortalezinha (Figura 8E e 8F), ocorre um notável processo de acreção costeira. Nesse trecho, a barra arenosa formada na Praia de Fortalezinha está localizada à frente da Vila de Fortalezinha, separada por um canal de maré localizado ao norte. A presença desse canal levou a uma mudança de estabilidade para acreção durante o último período de estudo. A barra ao nordeste atua como proteção para essa área, criando um ambiente de estabilidade durante a enchente, enquanto na vazante os sedimentos que adentraram no canal se depositam, formando um leque de espraiamento (NICHOLS, 2009). Esse processo favoreceu a concentração de sedimentos nessa área, como indicado pelos resultados das taxas sedimentares que mostraram um aumento no aporte de sedimentos para essa região no último período de estudo (Figura 5H).

Por outro lado, em relação à Vila de Mocooca (Figura 8E e 8F), a erosão foi mais intensa na porção sul, devido à sua exposição à dinâmica estuarina durante a maré vazante. No entanto, no último período de estudo, alguns pontos ao norte da Vila de Mocooca apresentaram acreção, pois estão diretamente relacionados ao acúmulo de sedimentos proporcionado pela presença da planície arenosa e pelo desenvolvimento do leque de espraiamento observado na Vila de Fortalezinha. Os valores negativos encontrados nessas áreas (Mocooca-Fortalezinha) são consistentes com os observados em linhas costeiras próximas a desembocaduras fluviais ou canais de maré, como documentado em estudos anteriores (KULELI, 2010; TRAINI et al., 2012; HOANG et al., 2015; JESUS; ANDRADE, 2018; SANTOS et al., 2021).

Baía; Ranieri e Rosário (2021) também concluíram que o bom desenvolvimento da vegetação sobre a linha de costa favoreceu a estabilidade e acreção costeira num setor da praia de Marudá, área vizinha à ilha de Algodal/Maiandeua. A presença de vegetação favorece a retenção de sedimentos da praia, diminuindo a dinâmica hídrica e aumentando a linha de costa e estabilidade do local (NASCIMENTO; LIMA, 2010).

Silva (2015) mediu o fluxo sedimentar na região e identificou que há uma alternância da capacidade de transporte na Praia da Princesa de acordo com o período climático, seco ou chuvoso. A praia apresenta bastantes sedimentos transportados durante o período seco, tanto no sentido onshore (oceano-continente) como offshore (continente-oceano). A noroeste, durante o período chuvoso, este transporte predomina no sentido offshore, podendo indicar perda de sedimentos mar afora e, conseqüentemente, é mais um fator que favorece a erosão a noroeste desta praia, além da presença de um canal de maré. Trata-se de uma área que está mais exposta ao oceano, e a refração de ondas, logo apresenta taxas de erosão costeira (PASOLINI, 2008).



**Figura 8** – Evolução da parte nordeste da Ilha de Algodal/ Maiandeuá. Praia da Princesa e Mupéua, indicando a incidência das ondas (seta azul) e corrente deriva (seta rosa) (A e B); canalização responsável por deposição e erosão na porção inferior da Praia de Fortalezinha (C), alternando para uma barra em pontal devido a influência das correntes de deriva do norte e influência do canal desenvolvendo uma leque de espreadimento (seta marrom) (D); incidência direta dos agentes físicos (seta vermelha) na Vila de Mocooca (E), havendo acreção para o ano de 2022 na porção da vila devido a ação do pontal e planície lamosa posterior (F). Fonte: Google Earth Pro.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a Ilha de Algodal/Maiandeuá possui variações em sua linha de costa que são pouco afetadas por ações humanas, mas são fortemente influenciadas por fenômenos fluviomarinhos, especialmente as correntes litorâneas e de maré. Essas alterações são mais significativas na porção leste da ilha, que está mais exposta aos efeitos do oceano. Devido à presença de apenas algumas áreas de ocupação humana na ilha, é esperado que as mudanças naturais do ambiente tenham uma influência predominante sobre as ações antrópicas. Isso significa que as forças naturais, como as correntes e marés, desempenham um papel crucial na modelagem da linha de costa da ilha, com relativamente pouca interferência das atividades humanas, confirmando a hipótese da pesquisa.

Os dados obtidos nesta pesquisa trazem informações importantes sobre a evolução da linha de costa em uma ilha fluviomarinha, cercada por processos oceanográficos, sob proteção ambiental, turismo ecológico emergente e ocupação humana ainda em expansão. A identificação de áreas de erosão/recuo costeiro e acreção/avanço costeiro permitem tomadas de decisão de uso da costa, gestão costeira, bem como trabalhos futuros, onde se deseja aplicar métodos diversos em locais específicos. É neste contexto que se destaca ainda a necessidade de coleta de outros dados físicos que complementem as informações dadas no presente estudo. Embora o *DSAS* seja uma excelente ferramenta de geoprocessamento para a análise morfológica de ambientes costeiros, incentiva-se que seus produtos sejam correlacionados com pesquisas climáticas, meteorológicas, geológicas e oceanográficas.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, A.; CORRÊA, I.; CALLIARI, L. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Method for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 65, n. 2, p.1710-1714, 2013.
- ALBUQUERQUE, M.F.; SOUZA, E.B.; OLIVEIRA, M.C.F.; JUNIOR, J.A. Precipitação nas Mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 151-168, 2010.
- BACINO, G.L.; DRAGANI, W.C.; CODIGNOTTO, J.O.; PESCIO, A.E.; FARENGA, M.O. Shoreline change rates along Samborombón Bay, Río de la Plata estuary, Argentina. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 237, p. 106659, 2020.
- BAÍA, L.B.; RANIERI, L.A.; ROSÁRIO, R.P. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231-244, 2021.
- BARRA, O.A.O.L.; VASCONCELOS, F.P.; ROCHA, C.S.; CASEMIRO, M.B.; SANTOS, D.V.; SILVA, F.E.S.S.; AMARAL, D.N. **Morfologia costeira em litorais urbanos**. In: CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, M.C.V.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. (Org.). Revisões de literatura da geomorfologia brasileira. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. p. 336-365.
- BASTOS, M.N.C. **Caracterização das formações vegetais da restinga da Princesa, ilha de Algodão, Pará**. Belém: UFPA, 1996.
- BATISTA, E.M.; SOUZA FILHO, P.W.M.; SILVEIRA, O.F.M. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, 2009.
- BOAK, E.H.; TURNER, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BORBA, T.A.C. **Morfodinâmica e hidrodinâmica de praias do litoral nordeste paraense, Brasil**. Belém, UFPA, 2011.
- BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YOUNG, R.S.; PILKEY, O.H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal hazard risk and mitigation. **Ocean and Coastal Management**, v. 42, n. 8, p. 647-670, 1999.
- CHU, Z.X.; SUN, X.G.; ZHAI, S.K.; XU, K H. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. **Marine Geology**, v. 227, n. 1/2, p. 13-30, 2006.
- CONTI, L.A.; RODRIGUES, M. Variação da linha de costa na região da ilha dos Guarás – PA através de análise de série temporal de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 922-937, 2011.
- CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Banco de dados meteorológico (Estação Synop)**. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/pa/maracana>>. Acessado em: 10 mai. 2018.
- DALRYMPLE, R.W.; CHOI, K. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. **Sedimentary Geology**, v. 81, p. 135-174, 2007.

DAS CHAGAS, R.A.; DA SILVA, R.E.O.; DOS PASSOS, T.A.F.; DE ASSIS, A.S.; DE ABREU, V.S.; DOS SANTOS, W.C.R.; BARROS, M.R.F.; HERRMANN, M. Análise biomorfológica da ostra-do-mangue cultivada no litoral amazônico. **Scientia Plena**, v. 15, n. 10, p. 1-13, 2019.

FARIAS, E.G.G.; MAIA, L.P. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 521-544, 2010.

FINKELSTEIN, K. Morphological variations and sediment transport in crenulate-bay beaches, Kodiak island, Alaska. **Marine Geology**, v. 47, p. 261-281, 1981.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W.E.; CASTRO, B.M.; SOARES, I.D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 575-616, 1996.

GOOGLE EARTH PRO project for Microsoft Windows. Version 7.3, Microsoft Corporation, 2023.

HOANG, V.C.; THANH, T.M.; VIET, T.N.; TANAKA, H. **Shoreline change at the Da Rang river mouth, Vietnam**. In: SANA, A.; HEWAWASAM L.; WARIS, M.B. (Org.). 5th International Conference on Estuaries and Coasts. Muscat: Oman, 2015, p. 312-318.

JESUS, L.V.; ANDRADE, A.C.S. Taxas de variação da linha de costa e faixas de proteção nas áreas contíguas à desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, Sergipe. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n. 3, p. 1-17, 2018.

KULELI, T. Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean coast in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 1, n. 4, p. 387-397, 2010.

LEMONS, A.L.B.; SOPCHAKI, C.H. Contribuição da ferramenta Digital Shoreline Analysis System nos estudos de dinâmica costeira no estado do Ceará, Brasil. **Revista Equador**, v. 3, n. 9, p. 61-81, 2020.

LUNA, F.D.; ARAÚJO, J.P.; PASSAVANTE, J.Z.O.; MENDES, P.P.; PESSANHA, M.; SOAVINSKI, R.J.; OLIVEIRA, E.M. Ocorrência do peixe-boi marinho (*Trichechus manatus manatus*) no litoral norte do Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 23, p. 37-49, 2008.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012, 266p.

MOORE, L.J. Shoreline mapping techniques. **Journal of Coastal Research**, v. 16, n. 1, p. 111-124, 2000.

MORAIS, J.O. Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do município de Fortaleza, estado do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 20, n. 1-2, 1980.

MOREIRA, T.F.; ALBUQUERQUE, M.G.; ESPINOZA, J.M.A.; PAULA, D.P.; ALVES, D.C.L.; BARROS, E.L.; BENDÔ, A.R.R.; CONCEIÇÃO, T.F. Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icará (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos Digital Shoreline Analysis System e do polígono de mudança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3395-3411, 2020.

NASCIMENTO, F.C.; LIMA, J.J.F. Diretrizes técnicas para locação de limites edificados em praias. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 197-218, 2010.

NASSAR, K.; MAHMOD, W.E.; FATH, H.; MASRIA, A.; NADAOKA, K.; NEGM, A. Shoreline change detection using *DSAS* technique: Case of North Sinai coast, Egypt. **Marine Georesources & Geotechnology**, v. 37, n. 1, p. 81-95, 2018.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. Chichester: Wiley, 2009. 432p.

PASOLINI, A. **Utilização do método de perfil de equilíbrio para determinar a estabilidade e a evolução de perfis de praias arenosas**. Vitória: UFES, 2008.

POATE, T.; MASSELINK, G.; AUSTIN, M.J.; DICKSON, M.; McCALL, R. The role of bed roughness in wave transformation across sloping rock shore platforms. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 123, n. 1, p. 97-123, 2018.

QUARESMA, H.D.A.B. **O desencanto da princesa: pescadores tradicionais e turismo na área de proteção ambiental de Algodual/Maiandeuá**. Belém: UFPA, 2003.

RANIERI, L.A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207-226, 2015.

RANIERI, L.A.; EL-ROBRINI, M. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2016.

RODRIGUES, P.M.L.S. **Erosão e Acreção de Sedimentos nas Praias da Zona Oeste da Cidade do Rio De Janeiro: Aplicação do Software DSAS**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017

RUIVO, M.L.; AMARAL, I.G.; FARO, M.P.S.; RIBEIRO, E.L.C.; GUEDES, A.L.S.; SANTOS, M.M.S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma toposequência na ilha de Algodual/Maiandeuá, Pa. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais**, v. 1, n. 1, p. 227-234, 2005.

SAM, S.C.; GURUGNANAM, B. Coastal transgression and regression from 1980 to 2020 and shoreline forecasting for 2030 and 2040, using *DSAS* along the southern coastal tip of Peninsular India. **Geodesy and Geodynamics**, v. 13, n. 6, p. 585-594, 2022.

SANTOS, J.P.S.; ANDRADE, A.C.S.; NASCIMENTO, P.S.R.; RAMOS, L.P. Erosão costeira e faixas de recuo em praias arenosas do sul de Sergipe, Brasil. **Geociências**, v. 40, n. 4, p. 1047-1061, 2021.

SEGUNDO G.H.C. **Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté, Pará, Brasil**. Niterói: UFF, 2007.

SILVA, C.G.; PATCHINEELAM, S.M.; BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A. **Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na linha de Costa**. In: BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. (Org.). Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p. 175-218.

SILVA, P.V.M. **Estudo da morfodinâmica sazonal e quantificação de transporte sedimentar costeiro nas praias de Fortalezinha e Princesa, Algodual/Maiandeuá (nordeste do estado do Pará)**. Belém: UFPA, 2015.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, Processos de Sedimentação e Litofácies dos Ambientes Morfo-Sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. **GEONOMOS**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 1996.

SOUZA, R.B. **Sensoriamento remoto: conceitos fundamentais e plataformas.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Estado do Rio Grande do Sul, 2010, 76p.

SZLAFSZEIN, C. F. Indefinições e Obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 47-58, 2009.

TESSLER, M.G.; MAHIQUES, M.M. **Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos.** In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. (Org.). Decifrando a terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. v.2. p. 376-399.

THIELER, E. R.; MARTIN, D.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 2.0: An ArcView Extension for Calculating Shoreline Change** (No. 2003-76). US Geological Survey: Reston, VI, USA, 2003.

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change.** Open File Report 2008-1278, U.S.A; US Geological Survey: Reston, VI, USA, 2009.

TRAINI, C.; SCHROTTKE, K.; STRATTEGGER, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; GUIMARÃES, J.K.; VITAL, H.; BESERRA, D.D.; SILVA, A.G.A. Morphology of subaqueous dunes at the mouth of the dammed river São Francisco (Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 6, n. 28, p. 1580-1590, 2012.

TREBOSSON, H.; DEFFONTAINES, B.; CLASSEAU, N.; KOUAME, J.; RUDANT, J.P. Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radarimages. **Comptes Rendus Geosciences**, v. 337, n. 13, p. 1140-1153, 2005.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat missions.** Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>>. Acessado em: 23 mai. 2018.

VALÈRE, D.E.M; FATOUMATA, B.; JEANNE, K.M.; JEAN-BAPTISTE, K.A., HERVÉ, M.A.B. Cartographie De La Dynamique Du Trait De Cote A Grand-Lahou: Utilisation De L'outil – Digital Shoreline Analysis System (DSAS). **European Scientific Journal**, v. 12, v. 36, p. 327-335, 2016.

VIANNA, C.; MORGADO, M.A. Os Encantos e Mistérios da Ilha de Algodal. Pará. **Onde**, v. 6, n. 2, p. 6-13, 2001.

WOLANSKI, E. **Estuarine Ecohydrology.** The Netherlands: Elsevier, 2007, 322p.