



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 11, nº 1 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1ID36612>



Avaliação Geoespacial da Dinâmica Espaço-Temporal da Linha de Costa de São José da Coroa Grande, Pernambuco, Brasil

Geospatial Assessment of the Spatio-Temporal Dynamics of the São José da Coroa Grande Coastline, Pernambuco, Brazil

Artur Loiola Alves da Silva¹; Admilson da Penha Pacheco²; Eduardo Paes Barreto³; Maria das Neves Gregório⁴; Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro⁵

¹ UFPE, Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife/PE, Brasil. Email: artur.loiola@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8308-6667>

² UFPE, Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife/PE, Brasil. Email: admilson.pacheco@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3635-827X>

³ ITEP, Pós-graduação do Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife/PE, Brasil. Email: eduardo.barreto@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8301-4878>

⁴ UFPE, PPGCGTG, Recife/PE, Brasil. Email: nevesgregorio@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2981-6719>

⁵ IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Recife/PE, Brasil. Email: carmarciaibge@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5397-6646>

Resumo: O monitoramento da linha de costa é essencial para compreender o impacto das atividades humanas e das mudanças climáticas na zona costeira. O acompanhamento regular da posição da linha de costa é extremamente importante para analisar e selecionar as soluções de engenharia mais eficazes na contenção da erosão costeira, além de subsidiar um sistema de gestão litorânea sustentável. Este estudo visa avaliar a evolução da linha de costa em São José da Coroa Grande, Pernambuco, ao longo dos últimos de 49 anos, usando técnicas de sensoriamento remoto como imagens de satélite, veículos aéreos não tripulados (VANT), além de levantamentos GNSS. Foram calculadas as taxas de progradação e retrogradação da costa, identificando os elementos geomorfológicos, que influenciam as mudanças, como erosão e acúmulo de sedimentos. Os resultados revelaram padrões consistentes de erosão e acreção ao longo das décadas examinadas ((1974, 1981, 1997 e 2023)., destacando um trecho com erosão de até -114,291 m/ano entre 1974 e 1997. O estudo também evidenciou a dinâmica sazonal de progradação e retrogradação na área. Recomenda-se integrar dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial e GNSS com informações oceanográficas para uma compreensão mais completa das mudanças costeiras em futuras pesquisas.

Palavras-chave: Linha de costa; Tecnologias Geoespaciais; Erosão.

Abstract: Coastline monitoring is essential to understanding the impact of human activities and climate change on the coastal zone. Regular monitoring of the position of the coastline is extremely important to analyze and select the most effective engineering solutions to contain coastal erosion, in addition to supporting a sustainable coastal management system. This study aims to evaluate the evolution of the coastline in São José da Coroa Grande, Pernambuco, over the last 49 years, using remote sensing techniques such as satellite images, unmanned aerial vehicles (UAVs), in addition to GNSS surveys. Coastal progradation and retrogradation rates were calculated, identifying the geomorphological elements that influence changes, such as erosion and sediment accumulation. The results revealed consistent patterns of erosion and accretion over the decades examined (1974, 1981, 1997 and 2023), highlighting a section with erosion of up to -114.291 m/year between 1974 and 1997. The study also highlighted seasonal dynamics of progradation and retrogradation in the area. It is recommended to integrate high spatial resolution remote sensing data and GNSS with oceanographic information for a more complete understanding of coastal changes in future research.

Keywords: Coastline; Geospatial Technologies; Erosion.

Recebido: 11/06/2024; Aceito: 09/01/2025; Publicado: 06/02/2025.

1. Introdução

A linha de costa é definida como a interface entre a terra e o mar que está continuamente sujeita a um ou mais fatores, como influências climáticas, hidrodinâmicas, geológicas, geomorfológicas e humanas (ZOYSA *et al.*, 2023).

As alterações climáticas e os seus impactos, combinados com atividades humanas descontroladas, intensificam as pressões sobre os ambientes costeiros, resultando na modificação da morfodinâmica costeira (Chowdhury *et al.*, 2023). Assim, medir e monitorar as mudanças na costa é uma tarefa para a gestão da zona costeira, sendo uma questão de segurança ambiental, que está relacionada com as mudanças no nível do mar e com a evolução da zona costeira (HUANG *et al.*, 2020).

Atualmente, o monitoramento da dinâmica costeira é realizado, principalmente, pelas técnicas de detecção remota, tais como: sensoriamento remoto a partir de imagens de satélite e veículos aéreos não tripulados (VANTS), apoiados por medições realizadas através do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) (HUANG *et al.*, 2020).

O aumento da disponibilidade de imagens multiespectrais de satélite e de VANTS, combinado com o desenvolvimento de algoritmos avançados de processamento digital de imagens, tem favorecido nos últimos anos várias aplicações avançadas na área costeira (CAVALLI, 2024; TSIAKOS; CHALKIAS, 2024).

Muitos estudos comprovaram a eficácia dos veículos aéreos não tripulados (VANT) para aplicações costeiras (TURNER *et al.*, 2016; VECCHI *et al.*, 2021). As principais vantagens dos VANTS reportam-se aos baixos custos de aquisição e utilização (em comparação com outras ferramentas), a possibilidade do planejamento e preparo rápido dos voos em campo com o auxílio de pontos de controle adquiridos por GPS/GNSS. O fato da maioria dos VANTS transmitirem imagens em tempo real permite repetir o experimento em caso de falha ou erro, além dos baixos riscos de segurança em caso de acidentes (GONÇALVES; HENRIQUES, 2015).

Os levantamentos GNSS são particularmente adequados para o monitoramento de áreas costeiras graças à ausência de obstáculos que possam reduzir a visibilidade do céu (VECCHI *et al.* 2021). As abordagens mais difundidas utilizadas em levantamentos costeiros GNSS são aquelas que permitem resultados em tempo real: *Real-Time Kinematic* (RTK) e *Network-RTK* (NRTK) (COHEN; HÉQUETTE, 2020; GONÇALVES *et al.*, 2017). O trabalho em tempo real permite avaliar a qualidade do levantamento em campo, verificando o estado de resolução de ambiguidade.

Vários estudos sobre a dinâmica morfológica das regiões costeiras foram realizados nas últimas décadas no litoral do estado de Pernambuco (GREGÓRIO *et al.*, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2019).

O município de São José da Coroa Grande/PE apresenta uma vasta extensão costeira com cerca de 10 km. Essa característica litorânea confere uma vocação econômica relacionada com as atividades turísticas e pesqueiras, que proporciona um rápido crescimento do setor imobiliário. Devido esses aspectos, a escolha da área de estudo na praia de São José da Coroa Grande foi motivada pela constante erosão observada na região, que pode impactar as atividades mencionadas.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução espaço-temporal da linha de costa em São José da Coroa Grande/PE, ao longo dos últimos 49 anos a partir de imagens obtidas por VANT e satélites, com o apoio de levantamentos de campo com o sistema GNSS. O estudo envolveu o cálculo da variação da taxa de progradação e retrogradação na linha de costa permitindo, assim, a identificação dos elementos geomorfológicos, que influenciam na dinâmica costeira, tais como erosão e acúmulo de sedimentos.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

A praia de São José da Coroa Grande (Figura 1) está localizada a 123 km da capital Recife, na Zona da Mata Sul de Pernambuco, limite com o Estado de Alagoas. Está posicionada no fuso 25S entre as coordenadas 263312.485 e 264787.911 E e 9013753.935 e 9017937.713 N. A área de estudo limita-se, ao norte, com Rio Una, onde se forma um pontal e, ao sul, com Rio Persinunga, possuindo aproximadamente 10 km de orla.

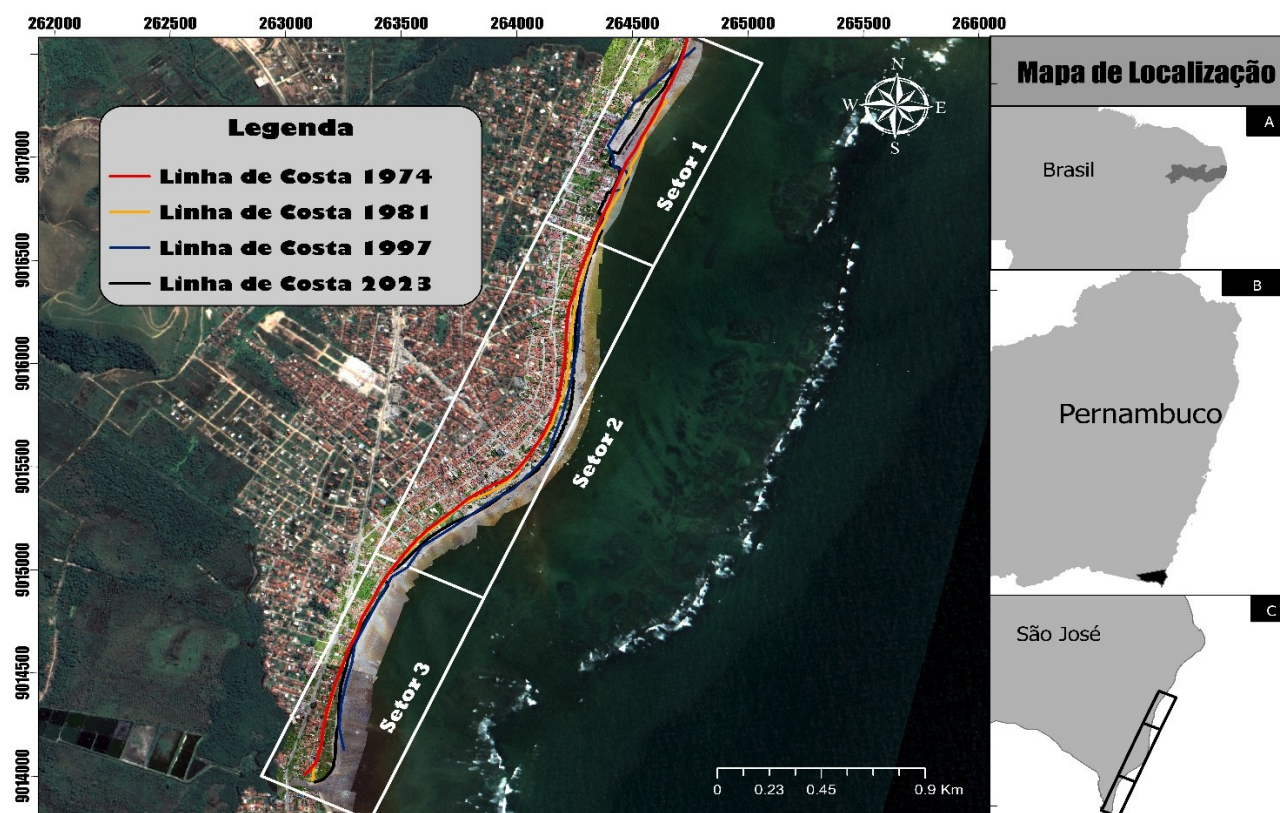


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo: **A** - Estado de Pernambuco. **B** - Destaque para o litoral sul. **C** - Limites pelas desembocaduras do rio Una, onde se forma um pontal e Rio Persinunga, possuindo aproximadamente 10 km de orla.

Fonte: Autores (2024).

2.2 Procedimentos metodológicos

O estudo envolveu atividades de campo seguidas pelo processamento subsequente dos dados em ambiente laboratorial. A área de estudo foi subdividida em três setores, onde as operações de campo incluíram a delimitação da área de estudo e a extração de pontos de controle através do GNSS. A Figura 2 ilustra os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa.

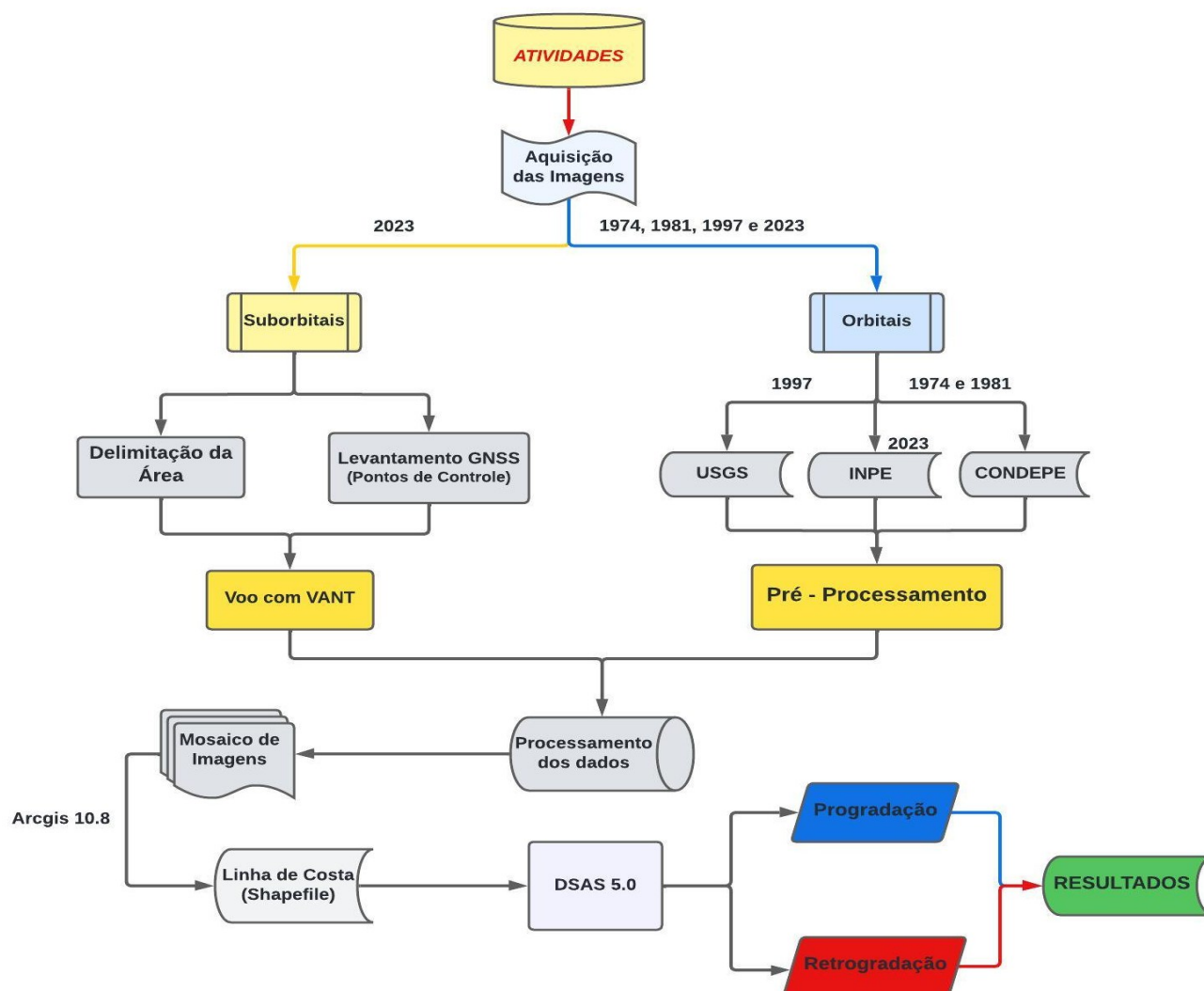


Figura 2 – Fluxograma da Metodologia.

Fonte: Autores (2024).

2.2.1 Levantamento e processamento das imagens com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT)

Para a aquisição das imagens com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), se fez necessário a delimitação da área de estudo através do software Google Earth Pro. Nesse software foram gerados planos de voo. Os voos abrangeram o setor 1 e parte do setor 2. Utilizou-se nesse imageamento o VANT da marca *DJI Phantom 4 ADVANCED* (Tabela 1). Os levantamentos aerofotogramétricos foram realizados nos dias 6 e 7/05/2023.

Tabela 1 – Parâmetros da câmera do *DJI Phantom 4Aadvanced*.

Parâmetros da câmera	
Sensor	CMOS 20 MP
Resolução (px)	4096×2160
Distância focal (mm)	8.8
Altura do voo (m)	110

GSD (cm)	2.44
----------	------

Fonte: DJI - Manual Phantom 4 Advanced (2024).

As áreas de voo correspondentes foram exportadas no formato KML e posteriormente importadas no *software* DroneDeploy - Mapping for DJI, versão 4.135.0. Através desse software, foram configurados os seguintes parâmetros de voo: I. Sobreposição Frontal de 80%; II. Sobreposição Lateral de 80%; III. Direção do Voo 152°; IV. Velocidade de Voo 2m/s; V. Ângulo do Gimbal 90°; VI. Altura do Voo: 110 m. As especificações mencionadas anteriormente na Tabela 1 resultaram em um tempo total de voo de aproximadamente 3 horas, abrangendo uma área de 81 hectares. Durante esse período foram capturadas 1840 imagens, o que implicou no consumo de 18 baterias.

Após o voo todas as imagens foram importadas para o software PIX4D mapper 4.5.4. Em seguida, foram mescladas, calibradas e georreferenciadas, o que resultou como dado final a ortoimagem da área de estudo.

2.2.2 Aquisição e processamento de pontos de controle.

Para a obtenção dos pontos de controle foi empregado o equipamento Leica GS15.. Para a correção dos efeitos de primeira ordem para receptores de dupla frequência pode-se utilizar a combinação linear livre de ionosfera, que combina linearmente as frequências L1 e L2 observáveis (MONICO, 2008)

Nas Equações 1 e 2 são apresentadas as combinações lineares livre de ionosfera (*ion-free*) para a fase da onda portadora φ_{IF} e da pseudodistância PD_{IF} :

$$PD_{IF} = m_1 PD_{L1} + m_2 PD_{L2} \quad (1)$$

$$\varphi_{IF} = m_1 \varphi_{L1} + m_2 \varphi_{L2} \quad (2)$$

Onde, m_1 e m_2 são os coeficientes multiplicadores da combinação.

As coordenadas dos pontos foram coletadas através do método relativo estático rápido (Figura 3), com intervalo de armazenamento de 5 min. Os dados provenientes do levantamento foram processados por meio do *software* Leica Geo Office. O método utilizado baseia-se na técnica de posicionamento relativo em relação à estação SAT 93110, a qual representa um dos vértices da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

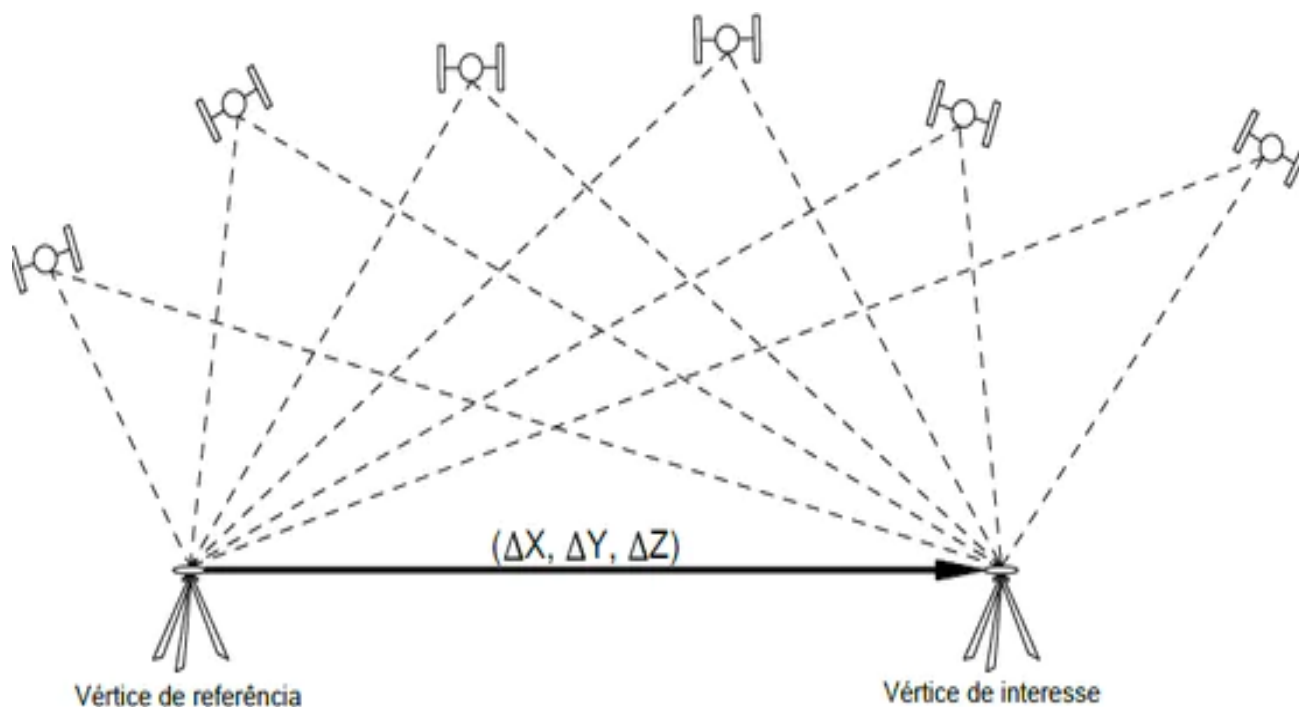


Figura 3 – Método relativo estático
Fonte: Monico (2008).

2.2.3 Aquisição e processamento das ortofotos e imagens orbitais.

A seleção das imagens baseou-se no aspecto temporal definido no estudo, ou seja, os últimos 49 anos. As ortofotos, com resolução espacial de 04 metros, dos anos de 1974 e 1981, foram obtidas no CONDEPE/FIDEM (CONDEPE/FIDEM, 2023). As imagens Landsat de 1997, com resolução espacial de 30 m, foram adquiridas através do site da *United States Geological Survey* (USGS) (USGS, 2023). As imagens CBERS-4A/VPM, com resolução espacial de 2 m, foram obtidas do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), (INPE, 2023). Todas as imagens foram georeferenciadas utilizando o *software* ArcGis 10.8 no sistema UTM (Universal Transversal Mercator) e Datum – SIRGAS 2000 25S (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

A Tabela 2 apresenta as especificações das ortofotocartas e imagens de satélite utilizadas no estudo.

Tabela 2 – Especificações das ortofotocartas e imagens de satélite.

Aquisição	Satélite	Data	Bandas Espectrais (μm)				Resolução (m)
			B	G	R	NIR	
Condepe/Fiden (Ortofotocarta)	-	01/01/1974	0	0,04	0,04	-	0,4
			-	-	-		
			0,25	0,19	0,19		
Condepe/Fiden (Ortofotocarta)	-	01/01/1981	0	0,04	0,04	-	0,4
			-	-	-		
			0,25	0,19	0,19		
USGS	LANDSAT-5 TM	04/10/1997	0,45	0,50	0,63	-	30
			-	-	-		
			0,52	0,60	0,69		

INPE	CBERS-4A WPM	07/05/2023	0,45 - 0,52	0,52 - 0,59	0,63 - 0,69	0,77 - 0,89	2
------	--------------	------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	---

Fonte: Autores (2024).

As imagens dos anos de 1997 e 2023 foram processadas com o software Qgis 3.34.3. As bandas espectrais referentes ao RGB foram mosaicadas através das ferramentas raster > miscelânea > mosaico. A imagem de 2023 referentes ao satélite CBERS4A precisaram passar por um processo de *pansharpening*, que consiste em transformar a imagem multiespectral em um domínio adequado, onde um dos componentes é substituído pela imagem pancromática de alta resolução espacial (PAN).

2.2.4 Extrações da Linhas de Costa

Para a vetorização das imagens foi utilizada a linha de preamar máxima (*high tide shoreline*). As taxas de variação da linha de costa foram determinadas usando os métodos do ponto de terminação (EPR - *end point rate*) e da regressão linear (LRR - *linear regression rate*) através da ferramenta DSAS 5.0 adquirida da USGS, posteriormente instalada como extensão no *software* Arcgis 10.8. Essas taxas, expressas em metros por ano (m/ano), podem ser negativas, positivas ou nulas, indicando recuo, avanço ou estabilidade da linha de costa, respectivamente (GALGANO; DOUGLAS, 2000). A partir desse processo foi gerado um *shapefile* do tipo linha onde foi possível extrair a linha de costa nas imagens. Em seguida esses dados foram importados para o DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), onde foi criada uma *geodatabase* e estabelecida uma reta paralela à linha costeira. Por meio desses dados, o *software* processou todas as informações estatísticas relevantes associadas à análise costeira.

3. Resultados e Discussão

A delimitação da linha de costa das praias do município de São José da Coroa possibilitou a avaliação espaço-temporal ao longo dos últimos 49 anos por meio do sensoriamento remoto e da classificação dos processos erosivos, acrecionais e de equilíbrio (Figura 4). Foi possível, assim, identificar as mudanças e/ou tendências da dinâmica da linha de costa.

A Figura 4 apresenta o mapa de variação temporal da linha de costa nos períodos de 1974 a 1981, 1974 a 1997 e 1974 a 2023, caracterizando qualitativamente os processos de erosão e acreção. Uma abordagem detalhada é apresentada por setores (1, 2 e 3), em seguida.

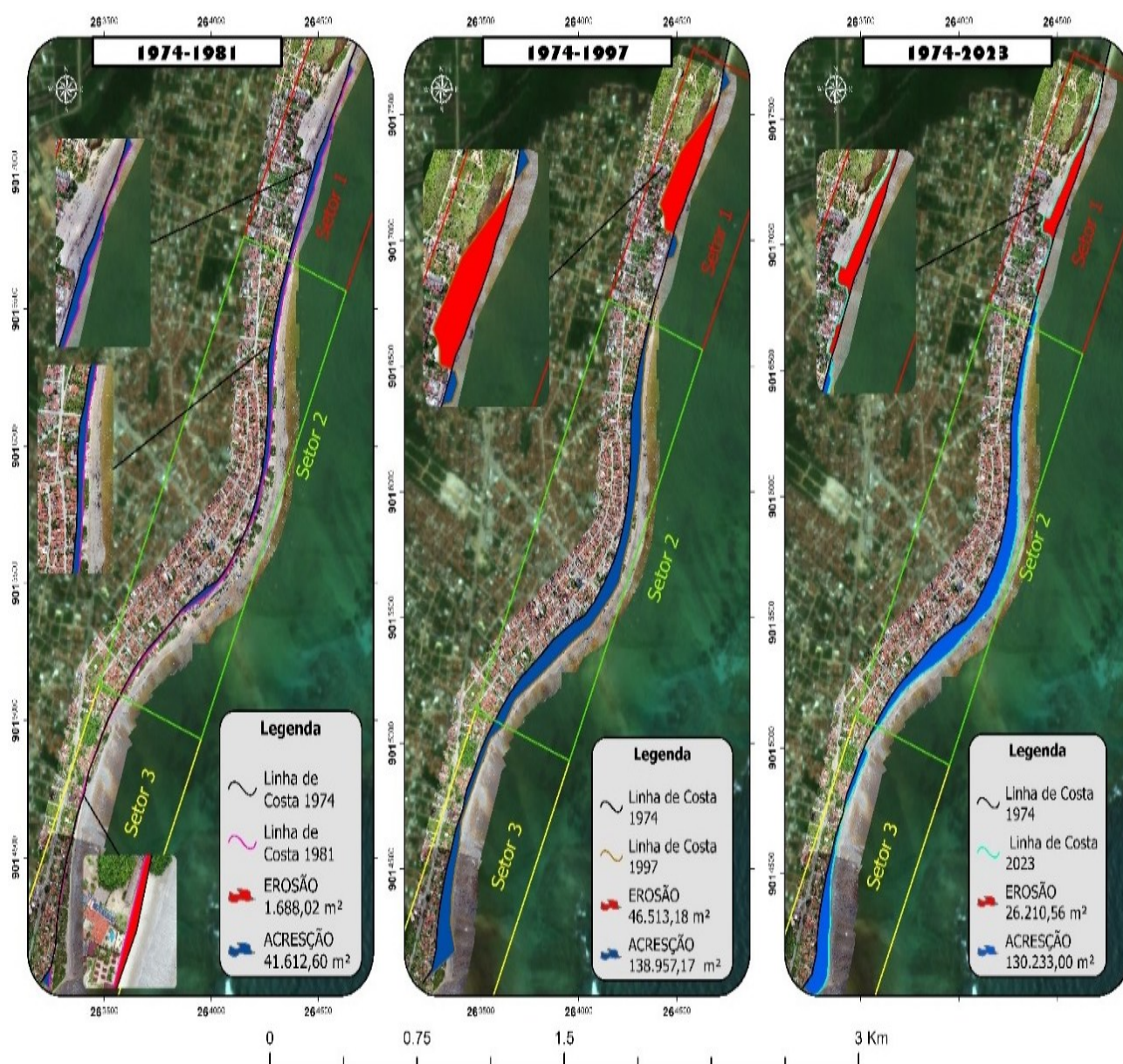


Figura 4 – Mapa da variação temporal da linha de costa.
Fonte: Autores (2024).

a) Setor 1

No período de 1974 a 1981, o setor 1 localizado no extremo norte da área de estudo experimentou uma progradação da linha de costa, com uma taxa média positiva de 2,54 m/ano (Tabela 2, Figura 4). Nesse intervalo, também registrou-se a maior variação mínima, atingindo 0,59 m/ano (Tabela 2), acompanhada por um desvio padrão de 1,04 m/ano.

De 1974 a 1997, observou-se um movimento de retrogradação da linha de costa, apresentando a maior taxa média negativa de -1,40 m/ano (Tabela 2, Figura 5). Além disso, esse período registrou o valor mínimo mais baixo das taxas de variação, chegando a -4,11 m/ano (Tabela 2), acompanhado pelo maior desvio padrão, atingindo 1,91 m/ano o maior entre os anos.

Entre 1974 e 2023 foi observada uma retrogradação da linha costeira, porém com uma taxa média negativa de -0,42 m/ano (Tabela 2, Figura 4). Esse período registrou o valor mínimo de -1,49 m/ano (Tabela 2), com um desvio padrão entre os setores de 0,45 m/ano, o menor entre os anos.

Tabela 2 – Variações das taxas (m/ano) no deslocamento da linha de costa setor 1.

SETOR 1	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	377	2,54	0,59	4,40	1,04
1974 – 1997	518	-1,40	-4,11	1,57	1,91
1974 – 2023	529	-0,42	-1,49	0,45	0,45

Fonte: Autores (2024).

Em relação aos valores médios na variação das distâncias do deslocamento da linha de costa de 1974 a 1981, houve a maior média positiva entre todos os setores, registrando um valor de +17,79 m (Tabela 3) em um segmento de aproximadamente 752 m de extensão, indicando uma progradação na linha de costa (Figura 5). Além disso, os valores mínimo e máximo das distâncias foram respectivamente +4,18 m e +30,83 m, enquanto o desvio padrão foi o menor encontrado, de 7,28 para o período estudado.

No intervalo de 1974 a 1997, em relação aos valores médios na variação das distâncias do deslocamento da linha de costa, o setor 1 exibiu a menor média entre todos os setores, registrando um valor de -39,01 m/ano (Tabela 3) em um trecho de aproximadamente 1034 m de extensão, indicando uma retrogradação na linha de costa (Figuras 4 e 5). Ademais, os valores mínimo e máximo das distâncias foram respectivamente -114,29 m/ano e +43,84 m/ano, enquanto o desvio padrão foi o maior encontrado, de 53,02 m/ano para o período estudado.

Quanto ao período de 1974 a 2023, foi registrado média de -22,66 m/ano (Tabela 3) em um segmento de aproximadamente 1057 m de extensão, confirmando uma retrogradação na linha de costa (Figuras 4 e 5). Igualmente, os valores mínimo e máximo das distâncias foram respectivamente -79,58 m/ano e +24,53 m/ano, enquanto o desvio padrão foi de 24,53 m/ano para o período estudado.

Tabela 3 – Variações das distâncias no deslocamento da linha de costa setor 1.

DISTÂNCIAS (m)					
SETOR 1	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	377	17,79	4,18	30,83	7,28
1974 – 1997	518	-39,01	-114,29	43,84	53,02
1974 – 2023	529	-22,66	-79,58	24,53	24,53

Fonte: Autores (2024).

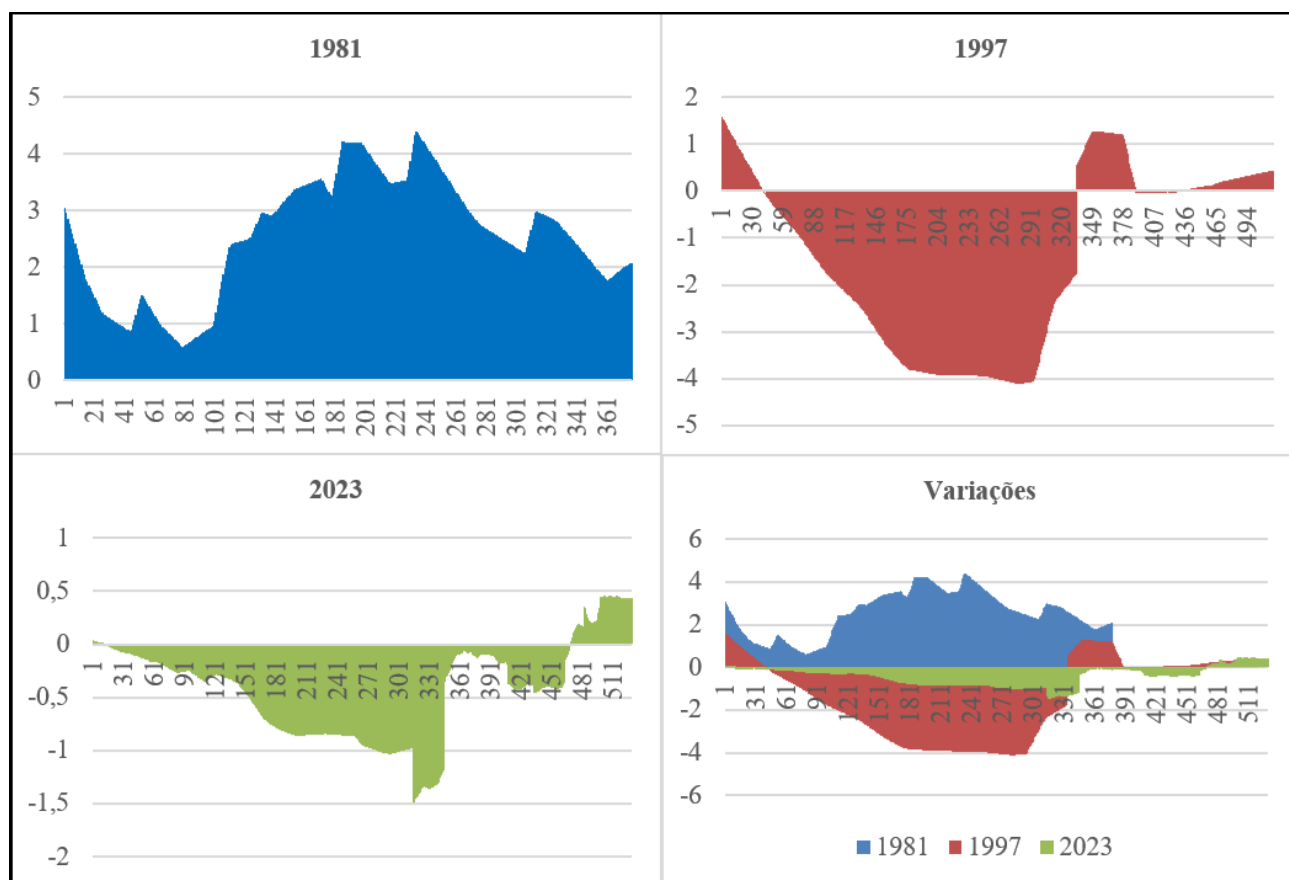


Figura 5 – Variação das taxas de progradação e retrogradação do setor 1.

Fonte: Autores (2024).

b) Setor 2

Durante o período de 1974 a 1981, o setor 2 destacou-se como o de maior relevância entre os setores examinados, registrando uma média positiva de 2,10 m/ano para a variação da linha de costa (Tabela 4, Figura 5). Além disso, o setor apresentou o valor máximo da taxa, atingindo +4,22 m/ano, o que representou o valor mais alto observado ao longo dos anos considerados. Paralelamente, o setor também exibiu o maior desvio padrão, alcançando 1,07 m/ano. Apresentando assim, uma progradação para o período de 1974 a 1981 (7 anos).

Entre 1974 e 1997, o setor 2 demonstrou a segunda maior média positiva entre os períodos analisados, com uma taxa média de variação da linha de costa de 1,80 m/ano (Tabela 3, Figura 5). Além disso, o valor máximo registrado para a taxa foi de +2,82 m/ano, ainda representando uma taxa significativa. Adicionalmente, o desvio padrão obtido foi o segundo menor, totalizando 0,58 m/ano, apresentando assim, uma progradação para o período de 1974 a 1997 (23 anos).

Para o intervalo de 1974 a 2023, o setor 2 revelou a menor média positiva entre os períodos analisados, com uma taxa média de variação da linha de costa de 0,95 m/ano (Tabela 3, Figura 5). O valor máximo registrado foi de +1,63 m/ano, o mais baixo entre os setores considerados. Além disso, apresentou o menor desvio padrão, totalizando 0,34 m/ano, apresentando assim, uma progradação para o período de 1974 a 2023 (49 anos).

Tabela 4 – Variações das taxas (m/ano) no deslocamento da linha de costa setor 2.

SETOR 2	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	884	2,10	0,26	4,22	1,07

1974 – 1997	885	1,80	0,44	2,82	0,58
1974 – 2023	885	0,95	0,29	1,63	0,34

Fonte: Autores (2024).

Em relação aos valores médios de variação das distâncias do deslocamento da linha de costa no setor 2, durante o período de 1974 a 1981, a média foi de 14,71 m/7 anos (Tabela 5, Figura 6), com um mínimo de 1,82 m/7 anos e o menor desvio padrão registrado foi de 7,49 m/ano.

Entre 1974 e 1997, o valor médio de variação das distâncias no setor 2 foi de 50,11m/23 anos (Tabela 5, Figura 6), o segundo maior registrado ao longo dos anos. O mínimo registrado foi de 12,26 m/23 anos (Tabela 5), com um desvio padrão de 16,27 m/ano.

Para o período de 1974 a 2023, a média de variação das distâncias no setor 2 foi de 50,83 /49 anos (Tabela 5, Figura 6), a maior entre todos os setores. O mínimo registrado foi de 15,70 m/49 anos, com o maior desvio padrão registrado, de 18,49 metros (Tabela 5).

Tabela 5 – Variações das distâncias no deslocamento da linha de costa setor 2.

DISTÂNCIAS (m)					
SETOR 2	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	884	14,71	1,82	29,54	7,49
1974 – 1997	885	50,11	12,26	78,46	16,27
1974 – 2023	885	50,83	15,70	87,36	18,49

Fonte: Autores (2024).

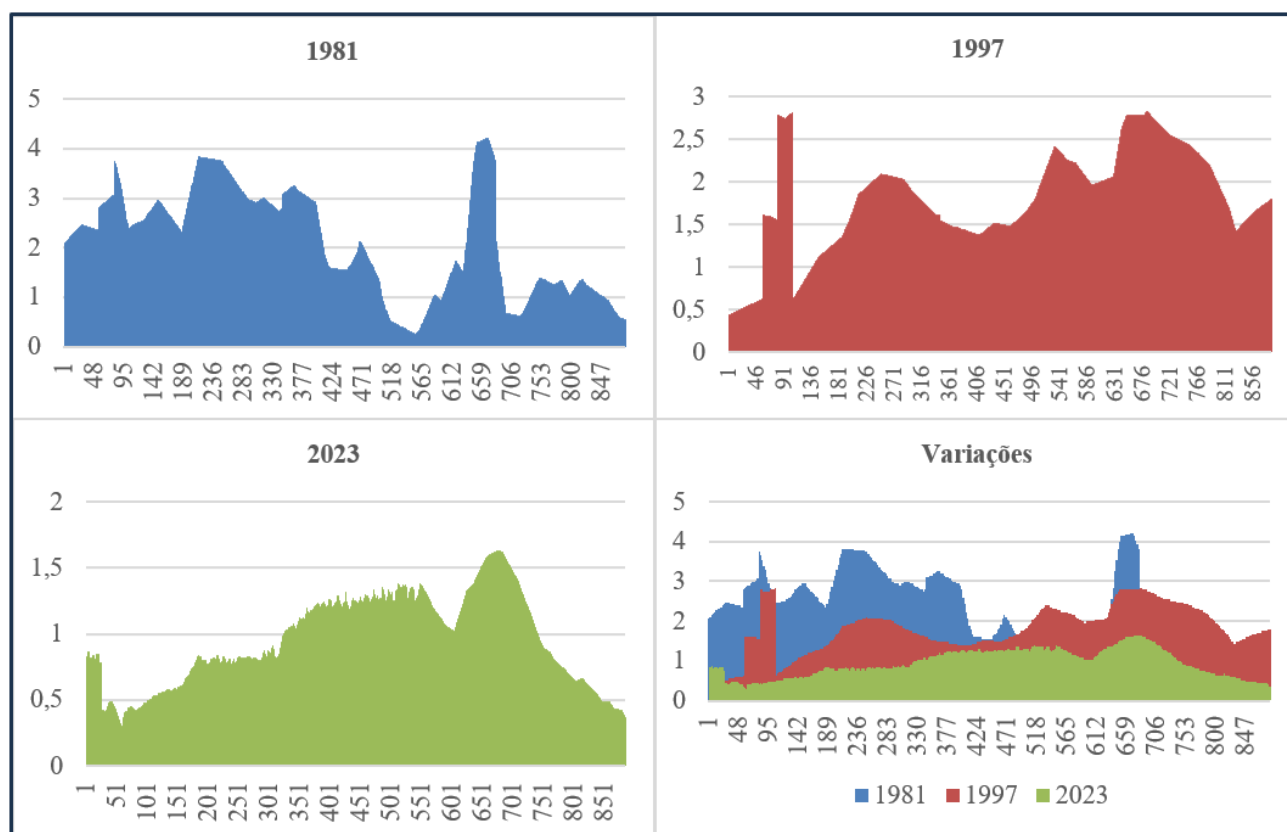


Figura 6 - Variação das taxas de progradação e retrogradação do setor 2.

Fonte: Autores (2024).

c) Setor 3

Durante o período de 1974 a 1981, a taxa média de deslocamento da linha de costa no setor 3, situado ao sul da área de estudo, foi de 0,18 m/ano, indicando um movimento de avanço (Tabela 6, Figura 7). O maior valor registrado foi de 5,44 m/ano, enquanto o menor foi de -1,07 m/ano, com um desvio padrão de 0,81.

Entre 1974 e 1997, a taxa média de deslocamento da linha de costa foi de 1,40 m/ano, também mostrando um movimento de avanço (Tabela 6, Figura 7). A segunda maior taxa registrada foi de 3,78 m/ano, com o mínimo de 0,46 m/ano e um desvio padrão de 0,78 m.

No intervalo de 1974 a 2023, a taxa média foi de 0,63 m/ano (Tabela 6, Figura 7), indicando um movimento de progradação (Figura 3 e 6). A taxa máxima observada foi de 1,48 m/ano, enquanto a mínima foi de 0,008 m/ano, com um desvio padrão de 0,46, o mais baixo entre os anos analisados.

Tabela 6 – Variações das taxas (m/ano) no deslocamento da linha de costa setor 3.

SETOR 3	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	551	0,18	-1,07	5,44	0,81
1974 – 1997	461	1,40	0,46	3,78	0,78
1974 – 2023	550	0,63	0,008	1,48	0,46

Fonte: Autores (2024).

No setor 3, durante o período de 1974 a 1981, foi observada uma média na variação das distâncias (Tabela 7 e Figura 7) de 1,27 m /7 anos, representando a menor média entre os anos e indicando, portanto, um avanço na linha de costa para esse setor (Figuras 6). Esse período também registrou a menor taxa máxima de 38,09 m/7 anos e a menor taxa mínima de -7,55 m/7 anos, com um desvio padrão de 5,73 m/7 anos, o mais baixo entre todos os anos analisados (Tabela 7, Figura 3 e 6).

Entre os anos de 1974 e 1997, observou-se uma média na variação das distâncias (Tabela 6 e Figura 6) de 38,94 m/ 23 anos, evidenciando um avanço na linha de costa para esse setor (Figuras 5 e 6). Nesse período, a maior taxa máxima registrada foi de 105,09 m /23 anos, com uma taxa mínima de 12,99 m/23 anos e um desvio padrão de 21,66 m/ano (Tabela 7).

Ao longo do período de 1974 a 2023, foi constatada uma média na variação das distâncias (Tabela 7; Figura 4 e 7) de 34,15 m/49 anos, sinalizando um avanço na linha de costa para esse setor (Figuras 4 e 7). Esse período apresentou uma taxa máxima de 79,68 m/49 anos e uma taxa mínima de 0,44 m/49 anos, com um desvio padrão de 24,96 m/ano (Tabela 7), o mais alto entre os anos analisados.

Tabela 7 – Variações das distâncias no deslocamento da linha de costa setor 3.

DISTÂNCIAS (m)					
SETOR 3	Nº Transectos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1974 – 1981	551	1,27	-7,55	38,09	5,73
1974 – 1997	461	38,94	12,99	105,09	21,66
1974 – 2023	550	34,15	0,44	79,68	24,96

Fonte: Autores (2024).

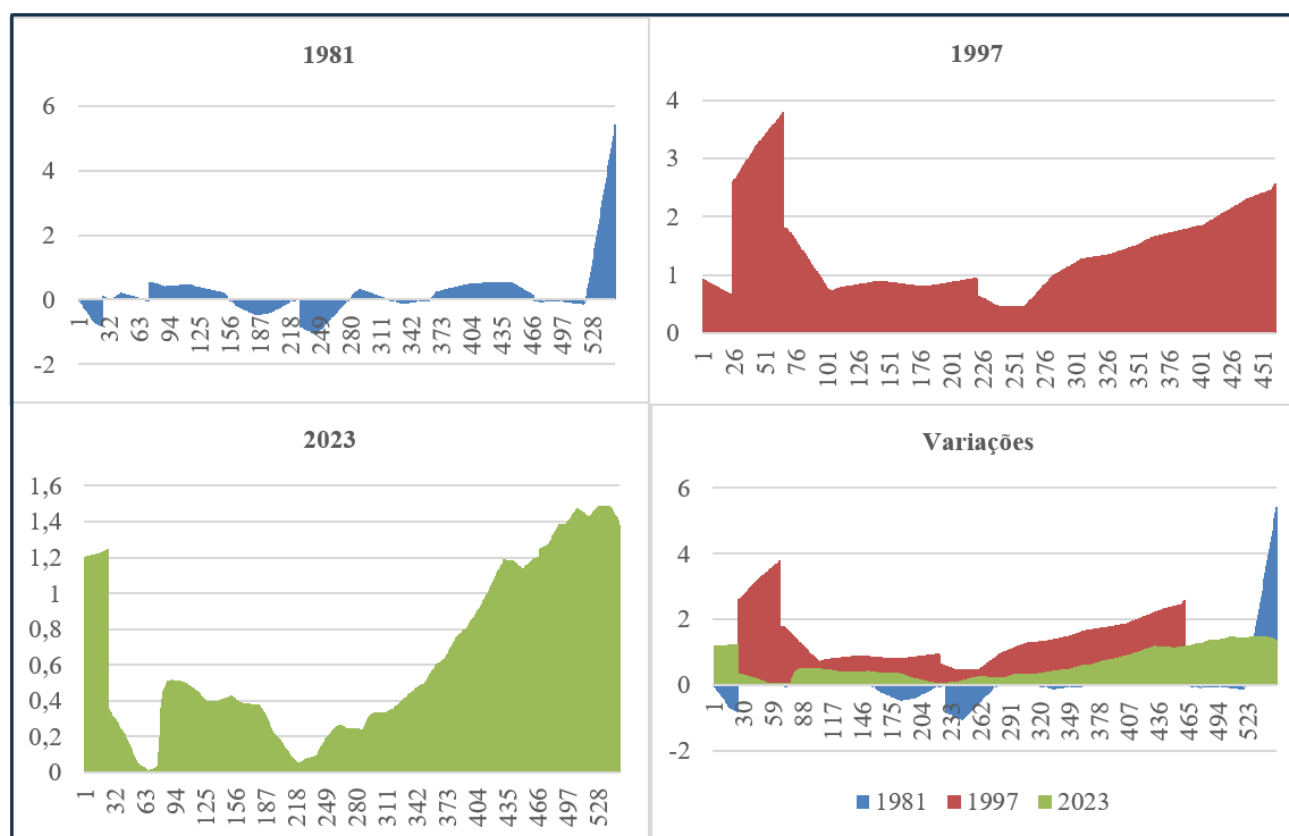


Figura 7 – Variação das taxas de progradação e retrogradação do setor 3.

Fonte: Autores (2024).

d) Transgressão e Regressão nos Setores (1, 2 e 3).

Os resultados referentes à transgressão e regressão na área dos 3 setores entre os anos de 1974 e 1981 (Figura 4) revelaram uma retrogradação total de cerca de 1688,02 m² (3,9%), enquanto que as áreas de progradação no litoral somaram 41612,60 m² (96,1%).

A variação da linha de costa demonstrou uma adição de aproximadamente 13.720,09 m² de área de progradação no setor 1 durante o período de 7 anos (1974-1981). No setor 2, essa variação foi ainda mais significativa, alcançando 25.983,07 m² de área de progradação, destacando-o como o setor com maior acreção. Enquanto isso, no setor 3, a variação foi de 249,1 m² ao longo do mesmo período (Figura 4).

Os resultados obtidos da área em relação a transgressão e a regressão (Figura 4) apresentaram um total para a retrogradação de aproximadamente 46.486,6m² (25%), enquanto que, 138.957,1 m² (75%) de progradação.

A variação da linha de costa apresentou erosão no setor 1, cerca de -39.680,13 m² de área de retrogradação em um período de 23 anos (1974-1997) sendo o único setor onde ocorreu transgressão. No setor 2 a variação foi de 89.007,05 m² de área de progradação, mostrando ser o setor de maior acreção. Enquanto a variação no o setor 3 foi de 43.224,20 m² no período de 23 anos (Figura 4).

Os resultados da análise da área em relação à transgressão e regressão (Figura 4) ao longo do período de 1974 a 2023 revelaram uma retrogradação total de aproximadamente 26,210.56 m² (16.75%), enquanto 130,233 m² (83.25%) representaram as áreas de progradação.

Observou-se erosão na linha costeira do setor 1, com uma diminuição de cerca de -24,061.57 m² de área de retrogradação ao longo de 49 anos (1974-2023), sendo esse o único setor onde houve transgressão. Já no setor 2, a variação foi de 89.975,05 m² de área de progradação, evidenciando-o como o setor com maior acreção. Enquanto isso, no setor 3, a variação foi de 38.143,59 m² ao longo do mesmo período (Figura 3).

4. Discussão

No que diz respeito ao setor 1, há uma clara tendência de erosão costeira. Isso é evidenciado pela significativa variação nos resultados ao longo dos anos. Entre 1974 e 1981, o setor experimentou um processo de progradação, com uma taxa média positiva de 2.54 m/ano (Tabela 2, Figura 5) e uma variação mínima de 0.59 m/ano. Posteriormente, esse cenário se transformou em retrogradação, atingindo seu ponto máximo entre 1974 e 1997, com taxas médias negativas de -1.40 m/ano (Tabela 1, Figura 4). Esse período também é caracterizado pelas taxas de variação mais baixas, atingindo até -4.11 m/ano. No período de 1974 a 2023, as médias negativas de erosão diminuíram, com uma média de -0,42 m/ano e valores mínimos de -1,49 m/ano (Tabela 1), indicando um setor sujeito a um intenso processo de transgressão (Figuras 4 e 5).

A dinâmica da linha de costa do setor 1 assemelha-se com o que foi constatado por FOTSI *et al.* (2019), que examinaram o estuário Wouri, situado no Golfo da Guiné. Nesse estudo, abordou-se o período de 1948 a 1996, revelando que 35% ou 29.13 km² da área investigada demonstrou erosão na zona 1 do local de estudo. Além deles, outros autores obtiveram resultados semelhantes como podemos observar no estudo feito por SILVA *et al.* (2021), onde foi analisada a praia do Paiva (Cabo de Santo Agostinho, PE, Brasil) obtendo-se o resultado de 31% de área de transgressão da linha de costa.

As atividades humanas têm reduzido o fornecimento de sedimentos para as áreas costeiras (DAS *et al.*, 2021; HAPKE *et al.*, 2013), enquanto a elevação do nível do mar tem impactado o balanço sedimentar em todas as regiões (FORBES *et al.*, 2004). Prevê-se um aumento na erosão dos ambientes costeiros, particularmente devido às projeções de aumento do nível do mar resultantes das mudanças climáticas induzidas pelo homem (HAPKE *et al.*, 2013).

O setor 2 demonstrou progradação da linha costeira ao longo do tempo, conforme evidenciado pelos valores estatísticos em todos os períodos analisados. No período de 1974 a 1981, foram registradas taxas médias de 2.10 m/ano, com uma variação mínima de 0.26 m/ano (Tabela 4). Entre 1974 e 1997, o setor apresentou uma média de distância entre os transectos de 50.11 m, com uma mínima de 12.26 m, o que o posiciona como o segundo intervalo com maior regressão. Os maiores valores médios e mínimos de distância foram observados no intervalo temporal de 1974 - 2023, com 50.83 m e 15.70 m, respectivamente (Tabela 5; Figuras 4 e 6). Essas tendências podem ser explicadas pelo progressivo estoque de sedimentos nas porções a norte dos arcos praias por ação de correntes de deriva litorânea (Vos *et al.*, 2019), pelo retrabalhamento de sedimentos previamente depositados e por mudanças relacionadas às ondas (Silva *et al.*, 2016).

Os resultados deste estudo estão em consonância com os realizados por Barreto (2014) na área de estudo correspondente, onde o setor 2, durante o período de 1960 a 2013 (53 anos), apresentou resultados comparáveis aos atuais. Nesse contexto, a distância média entre os transectos foi de 47.24 metros, enquanto a distância mínima foi de 12.25 metros. Isso evidencia uma contínua progradação da linha de costa nesse setor.

Examinando o setor 3 no intervalo temporal de 1974 a 1981, podemos evidenciar que mesmo possuindo pontos de erosão, tendo em vista suas taxas mínimas de -1.07 m/ano e distância mínima de -7.55 m, esse setor apresenta taxas médias de 0.18 m/ano, sendo assim uma área de progradação. A continuidade dos acúmulos de sedimentos na área em estudo é evidenciado nos resultados dos anos subsequentes, possuindo no intervalo de 1974 a 1997 taxas médias e distâncias médias de 1.40 m/ano e 38.94 m (Tabela 6 e 7) respectivamente. Enquanto no intervalo temporal de 1974-2023 possui taxas médias de 0.63 m/ano e distância média de 34.15 m (Tabela 6 e 7; Figuras 4 e 7).

As ondas incidentes sobre a praia é um fator que determina a ocorrência de costas erosivas ou de sedimentação (UMAR *et al.*, 2015). A progradação é gerada quando a linha de recife é contínua, a praia avança formando um tómbolo (COUTINHO, 1997). Conforme SANTOS JUNIOR *et al.* (2020), esses processos são influenciados por uma série de fatores adicionais, tais como ventos, correntes marítimas, variações da maré e, no contexto específico de Pernambuco, eventos de maior precipitação pluviométrica que podem levar a enchentes em áreas costeiras urbanas, resultando em um aumento no transporte de sedimentos pelos rios.

5. Considerações Finais

Os resultados deste estudo revelaram um padrão consistente de mudanças de erosão e acreção da linha de costa ao longo das quatro décadas examinadas (1974, 1981, 1997 e 2023). Com transgressão contínua ao norte da área, representando 16,55% no setor 1, enquanto o setor 2 registrou uma regressão acumulada de 59,69% durante todo o período analisado. Apesar de pequenas áreas de erosão terem sido identificadas na década de 80, o setor 3, ao sul da área de estudo, apresentou taxas de regressão de 23,77%.

O estudo evidenciou a dinâmica sazonal de progradação e retrogradação em todos os setores ao longo dos períodos investigados. No setor 1, por exemplo, observou-se um recuo contínuo da linha costeira ao longo dos anos, causando

impactos significativos para a comunidade local. Estudos anteriores corroboram a hipótese de que as variações na linha costeira são eventos cíclicos, influenciados tanto por fatores naturais quanto por atividades humanas.

Recomenda-se a condução de estudos futuros, que integrem dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial (obtidos com imagem de satélite e VANTs) com informações oceanográficas, proporcionando uma compreensão mais abrangente das mudanças na linha costa. Além disso, é imperativo quantificar e correlacionar variáveis climáticas com as alterações na linha de costa, visando uma gestão mais eficaz dos ambientes costeiros e a mitigação dos impactos da erosão, transporte e deposição de sedimentos.

Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (Propesqi - UFPE), que financiou esta pesquisa através da concessão de uma bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e a empresária Mônica Zeneide da Silva Rodrigues, proprietária do Costa Dourada VILLAGE/Maragogi/ Alagoas, pelo apoio logístico à pesquisa.

Referências

- Armenio, E.; De Serio, F.; Mossa, M.; and Petrillo, A. F. Coastline evolution based on statistical analysis and modeling, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 19, 1937–1953, 2019. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1937-2019>, 2019.
- Barreto, E. P. (2014). Processos Morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos na Plataforma Continental Interna da Praia de São José da Coroa Grande, Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Recife, 2014. 309 f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- Barry, P.; Coakley, R. Accuracy of Uav Photogrammetry Compared with Network RTK GPS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, v. 2, 2731, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.011>.
- Camfield, F. E.; Morang, A. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean & Coastal Management*, v. 32, n. 3, 129-151, ISSN 0964-5691, [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(96\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(96)00059-2), 1996.
- Cavalli, R.M. Remote Data for Mapping and Monitoring Coastal Phenomena and Parameters: A Systematic Review. *Remote Sensing*, v. 16, n. 446, 2024, <https://doi.org/10.3390/rs16030446>.
- Chowdhury, P.; Lakku, N. K. G.; Susana Lincoln, S.; Jaya Kumar Seelam, J. K.; Ranjan Behera, M. R. "Climate change and coastal morphodynamics: Interactions on regional scales." *Science of The Total Environment*, v. 899, 166432, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166432>
- CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Cartografia e Uso do Solo. In *Cartografia e Uso do Solo*. Disponível em: <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/produtos>. Acesso em: 08/09/2023.
- Das, S.; Sangode, S. J.; Kandekar, A. M. Recent decline in streamflow and sediment discharge in the Godavari basin, India (1965–2015). *Catena*, v. 206, 105537, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- DJI. MANUAL PHANTON 4 ADVANCED. In *MANUAL PHANTON 4 ADVANCED*. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mobile/support/product/phantom-4-adv>. Acesso em: 12 de abr de 2024.
- Forbes, D. L.; Parkes, G. S.; Manson, G. K.; Ketch, L. A. Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology* v. 210, 169–204, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.05.009>
- Fotsi, Y. F.; Pouvreau, N.; Brenon, I.; Onguene, R.; Etame, J. Temporal (1948–2012) and Dynamic Evolution of the Wouri Estuary Coastline within the Gulf of Guinea. *Journal of Marine Science and Engineering*, v.7, n.10, 343, 2019. <https://doi.org/10.3390/jmse7100350>
- Galgano, F. A.; Douglas, B. C. Shoreline position prediction: method sand erros. *Environmental Geosciences*, v. 7, n. 1, p. 23-31, 2000. DOI: 10.1046/j.1526- 0984.2000.71006.x.

- Gonçalves, J. A.; Henriques, R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. v. 104, 101–111, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>
- Gonçalves, R. M.; Awange, J. L. Three Most Widely Used GNSS-Based Shoreline Monitoring Methods to Support Integrated Coastal Zone Management Policies. *Journal of Surveying Engineering* v. 143, n. 3, 05017003, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000219](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000219)
- Gonçalves, R. M.; Saleem, A.; Queiroz, H. A. A., & Awange, J. L. A fuzzy model integrating shoreline changes, NDVI and settlement influences for coastal zone human impact classification. *Applied Geography*, v. 113, 102093, 2019. doi:10.1016/j.apgeog.2019.102093.
- Gregório, M. D. N.; Araújo, T. C. M. D.; Mendonça, F. J. B.; Gonçalves, R. M.; Mendonça, R. L. Mudanças posicionais da linha de costa nas praias do Pina e de Boa Viagem, Recife, PE, Brasil. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 45, n. 1, p. 44-61, 2017.
- Hapke, C. J.; Kratzmann, M. G.; Himmelstoss, E. A. Geomorphic and human influence on large-scale coastal change. *Geomorphology* v. 199, 160–170, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.025>
- Huang, C.; Zhang, H.; Zhao, J. High-Efficiency Determination of Coastline by Combination of Tidal Level and Coastal Zone DEM from UAV Tilt Photogrammetry. *Remote Sensing*, v. 12, 2189, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12142189>
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. disponível em <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>, Acesso em: 05/12/2023.
- Junior, G. S. S.; Gregório, M. N.; Carneiro, M. C. S. M.; Barreto, E. P., COSTA, G. J. A.; & Melo, W. D. A. Análise da evolução da linha de costa da Região Metropolitana Sul da Cidade do Recife – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n.4, 1645-1674, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1645-1674>
- Kulp, S. A.; Strauss, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, v. 10, 4844, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z>
- Martínez, M. L.; Intralawan, A.; Vázquez, G.; Pérez-Maqueo, O.; Sutton, P.; Landgrave, R. The coasts of our world: ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, v. 63, 254–272, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.10.022>
- Monico, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 477p.
- Ružić, I.; Marović, I.; Benac, C.; Ilić, S. Coastal cliff geometry derived from structure-from-motion photogrammetry at Stara Baška, Krk Island, Croatia. *Geo-Marine Letters*, 34, 555–565, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00367-014-0380-4>
- Santos Junior, G. S., Gregório, M. N., Carneiro, M. C. S. M., Barreto, E. P., COSTA, G. J. A.; Melo, W. D. A. Análise da evolução da linha de costa da Região Metropolitana Sul da Cidade do Recife – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1645-1674, 2020.
- Silva, C. F. A.; Schuler, C. A. B.; Gregório, M. N.; Barreto, E. P.; Marquetti, R. K. Evolução Multi-Temporal da Linha de Costa da Praia do Paiva, Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, 41336, 2021. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_41336
- Silva, G. V.; Muler, M.; Prado, M. F.; Short, A. D.; Klein, A. H. F.; Toldo, E. E. Shoreline change analysis and insight into the sediment transport path along Santa Catarina Island north shore, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v.32, n.4, 863-874, 2016. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00164.1>
- Tsiakos, C.-A.D.; Chalkias, C. Use of Machine Learning and Remote Sensing Techniques for Shoreline Monitoring: A Review of Recent Literature. *Applied. Sciences*, v. 13, 3268, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13053268>

-
- Turner, I. L.; Harley, M. D.; Drummond, C. D. UAVs for Coastal Surveying. *Coastal Engineering*, v. 114, 19–24, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>
- Umar, H.; Rahman, S.; Baeda, A. Y.; Klara, S.. Identification of coastal problem and prediction of coastal erosion sedimentation in South Sulawesi. *Procedia Engineering* v. 116, 125-133, 2015.
- USGS - United States Geological Survey. Earth Explorer data. *In Earth Explorer data*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12/12/2023.
- Vallet, J.; Panissod, F.; Strecha, C.; Tracol, M. Photogrammetric Performance of an Ultra Light Weight Swinglet “UAV”. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2012, XXXVIII-1/C22, 253–258. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-253-2011>
- Vecchi, E.; Tavasci, L.; De Nigris, N.; Gandolfi, S. GNSS and Photogrammetric UAV Derived Data for Coastal Monitoring: A Case of Study in Emilia-Romagna, Italy. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 9, 1194, 2021. <https://doi.org/10.3390/jmse9111194>
- Vos, K.; Harley, M. D.; Splinter, K. D.; Simmons, J. A.; Turner, I. L. (2019). Sub-annual to multi-decadal shoreline variability from publicly available satellite imagery. *Coastal Engineering*, v. 150, 160-174, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.004>
- Zoysa, S.; Basnayake, V.; Samarasinghe, J. T.; Gunathilake, M. B.; Kantamaneni, K.; Muttill, N.; & Rathnayake, U. (2023). Analysis of Multi-Temporal Shoreline Changes Due to a Harbor Using Remote Sensing Data and GIS Techniques. *Sustainability*, v. 15, n. 9, 7651. <https://doi.org/10.3390/su15097651>