



Análise dos processos de erosão e deposição de sedimentos nas praias dos municípios de Parnaíba e Ilha Grande, litoral do Piauí

Antonio Carlos de Oliveira Silva¹  

Giovana Mira de Espíndola²  

Edvania Gomes de Assis Silva³  

Destaques

- Intensa dinâmica nas zonas costeiras dos municípios de Parnaíba e Ilha Grande - PI.
- A elevada dinâmica costeira nos municípios de Parnaíba e Ilha Grande -PI influencia a erosão.
- A erosão na zona costeira do litoral piauiense tem causado alterações na paisagem.
- O processo de erosão se distribui de forma variada ao longo da costa de Parnaíba e Ilha Grande - PI.

Resumo: O litoral do Piauí, apesar de sua extensão territorial reduzida, demonstra uma complexa dinâmica costeira influenciada por fatores naturais e antropogênicos que se fazem evidente nos processos de erosão e deposição de sedimentos. Este estudo visou analisar os processos de erosão e sedimentação entre os rios Parnaíba e Igaracu nos últimos anos. Utilizando dados das plataformas C.A.S.S.I.E e Google Earth Engine, juntamente com imagens do satélite Landsat, identificou-se que o litoral piauiense está sujeito a intensos processos de erosão e deposição de sedimentos, especialmente no setor oeste. A presença de áreas de deposição e erosão nesse setor sugere uma maior atividade costeira, enquanto o setor leste exhibe maior estabilidade. Os achados desta pesquisa fornecem insights valiosos sobre os processos costeiros na região, contribuindo para o planejamento e gestão ambiental da zona costeira do Piauí.

Palavras-chave: Erosão costeira; sedimentação; litoral piauiense; Landsat.

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Licenciado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI).

² Professora adjunta do curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutora em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

³ Professora adjunta do curso de turismo da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr). Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).



ANALYSIS OF THE PROCESSES OF EROSION AND SEDIMENT DEPOSITION ON THE BEACHES THE MUNICIPALITIES OS PARNAÍBA AND ILHA GRANDE, COAST OS PIAUÍ

Abstract: The coastline of Piauí, despite its reduced territorial extension, demonstrates a complex coastal dynamic influenced by natural and anthropogenic factors. This study aimed to analyze the processes of erosion and sedimentation between the Parnaíba and Igaracu rivers in recent years. Using data from the C.A.S.S.I.E and Google Earth Engine platforms, along with images from the Landsat satellite, it was identified that the coast of Piauí is subject to intense processes of erosion and sediment deposition, especially in the western sector. The presence of deposition and erosion areas in this sector suggests greater coastal activity, while the eastern sector exhibits greater stability. The findings of this research provide valuable insights into the coastal processes in the region, contributing to the planning and environmental management of the coastal zone of Piauí.

Keywords: Coastal erosion; cedimentation; Piauí coast; Landsat.

ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS EN LAS PLAYAS DE LOS MUNICIPIOS DE PARNAÍBA E ILHA GRANDE, COSTA DE PIAUÍ

Resumen: El litoral de Piauí, a pesar de su reducida extensión territorial, muestra una dinámica costera compleja influenciada por factores naturales y antropogénicos. Este estudio tuvo como objetivo analizar los procesos de erosión y sedimentación entre los ríos Parnaíba e Igaracu en los últimos años. Utilizando datos de las plataformas C.A.S.S.I.E y Google Earth Engine, junto con imágenes del satélite Landsat, se identificó que el litoral de Piauí está sujeto a intensos procesos de erosión y deposición de sedimentos, especialmente en el sector oeste. La presencia de áreas de deposición y erosión en este sector sugiere una mayor actividad costera, mientras que el sector este exhibe mayor estabilidad. Los hallazgos de esta investigación proporcionan conocimientos valiosos sobre los procesos costeros en la región, contribuyendo a la planificación y gestión ambiental de la zona costera de Piauí.

Palabras clave: Erosión costera; sedimentación; costa de Piauí; Landsat.

INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos o ser humano se desenvolve e se estabelece, principalmente, em algumas áreas do litoral, onde suas atividades somadas as ações naturais causam mudanças visíveis no ambiente costeiro. Estas mudanças são perceptíveis no avanço ou recuo da linha de costa causado principalmente pelo processo de erosão e deposição de sedimentos na Zona Costeira (ZC), direcionando muitos estudiosos a pesquisarem sobre os processos naturais e antrópicos existentes nesta área, com o intuito de compreender como eles alteram o meio ambiente e quais suas consequências para ser humano.

A importância de compreender e prever as mudanças no ambiente costeiro se deve, segundo Bagheri, (2019), por possibilitar uma melhor compreensão dos impactos para o meio ambiente e para as comunidades costeiras, assim como sua aplicabilidade para a gestão, planejamento e proteção deste meio.

Tais mudanças, na linha de costa, se fazem presente no litoral do Piauí, principalmente no trecho localizado entre os rios Parnaíba e Igarçu, que ocupa uma área de aproximadamente 20km, compreendendo os municípios de Parnaíba e Ilha Grande Santa Isabel, onde as alterações causadas pela dinâmica costeira relacionam-se, sobretudo, aos processos de erosão e deposição de sedimentos. Tem-se que este trecho, assim como toda a zona costeira, de acordo com Lima (2010), são ambientes naturalmente instáveis com uma dinâmica intensa e ininterrupta, onde diversos fatores naturais e antrópicos estão envolvidos nos processos de sedimentação e erosão desta área.

Diferente do restante do território nacional o Piauí foi colonizado a partido do interior, este fato não tira a importância da sua zona costeira, que por razões históricas se apresenta como o menor do Brasil. Neste destacam-se os municípios de Parnaíba e Ilha Grande, que apresentam elevada dinâmica costeira que influencia nos processos de erosão e deposição de sedimentos.

É importante destacar que litoral e a zona costeira têm definições e conceitos diferentes, visto para alguns autores como Souza (2015, p. 17), a zona costeira corresponde a “ambientes com alto fluxo de matéria e energia, caracterizando-se por sistemas espontaneamente instáveis”, tal instabilidade está relacionada com a existência do ser humano neste ambiente, onde Silva (2020, p. 7), afirma que, “o homem expandiu seu domínio ocupando grande parte das zonas costeiras de forma que estas tornaram-se mais populosas”.

Uma evidência da concentração populacional nas áreas costeiras do Brasil são os dados do Censo demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que mostram que cerca 25% da população brasileira reside em municípios costeiros. Desse modo, de acordo com Pinho e Carriço (2021, p. 22), “as zonas costeiras são fortemente afetadas com o processo de ocupação territorial e conseqüentemente sofreram impactos, negativos ou positivos, da urbanização”, contudo, a área em questão não apresenta um elevado índice de

urbanização, de forma que os impactos deste processo no Trecho Entre Rios não são tão evidentes.

A elevada densidade demográfica nas zonas costeiras ocorre em países de origem colonial como o Brasil, pois segundo Moura (2009) a ocupação de países colonizados ocorreu no sentido da costa para o interior do território o que deve explicar porque a zona costeira e o litoral do Piauí possui uma densidade populacional relativamente baixa em relação aos outros estados do Brasil, pois diferente da maioria deles, a ocupação do território piauiense iniciou-se pelo interior do Estado, a partir da segunda metade do século XVII, onde de acordo com Alves (2003), o território piauiense passou a ser ocupado, inicialmente, pelas costas leste e sul, atingindo o rio Parnaíba e chegando ao território maranhense.

A ZC piauiense é composta pelos municípios de Cajueiro da Praia, Luís Correia, Ilha Grande e Parnaíba, este último, segundo Pessoa (2020), destaca-se em relação aos demais municípios da ZC do estado por ser um centro de rede urbana de escala menor, apresentando uma série de serviços que só podem ser encontrados em centros urbanos, como shoppings, órgãos de esfera federal e estadual, além de instituições de ensino superior. Estes fatores tornaram a cidade de Parnaíba atrativa para população, fazendo com que esta passa por processos de estruturação e reestruturação para acomodar o crescimento populacional. Neste sentido, Paula (2013) afirma que o crescimento, ocupação e intensificação das formas de uso representa um cenário com inclinações degradacionais que comprometem os patrimônios naturais, sociais e econômicos.

É evidente a existências de pesquisadores focados na costeira, como Paula, Lima, Morais, entre outros. Contudo as pesquisas voltadas para o tema da linha de costa no litoral piauiense ainda são muito escassas. Por este motivo o litoral de Parnaíba foi escolhido para realizar esta pesquisa que tem o objetivo de analisar as variações da linha de costa causada por fatores antrópicos e naturais, buscando entender como os processos de erosão e deposição de sedimentos modificam a mesma, trazendo mudanças para a paisagem e influenciando a vida dos moradores do local.

Neste contexto, destaca-se as praias que ocupam os municípios de Parnaíba e Ilha Grande. Estas não apresentam uma elevada densidade

populacional as estruturas humanas, como casas, bares, pistas, torres eólicas, etc., que removem ou modificam a proteção da área frontal da praia de forma que as correntes marítimas passam a remover os sedimentos de determinados pontos com maior intensidade enquanto depositam uma quantidade maior de sedimentos em outros locais da praia. Esta disparidade na erosão e deposição de sedimentos demonstra as alterações na linha de costa que futuramente deixaram marcas evidentes na paisagem do local.

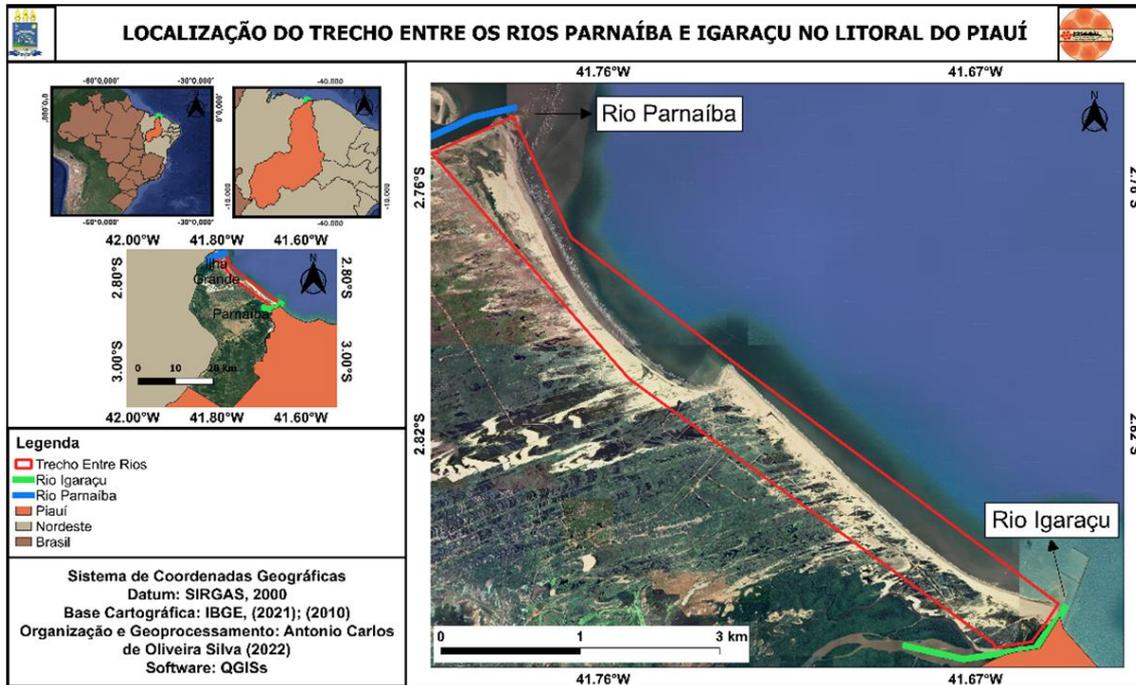
O que leva ao objetivo, desta pesquisa, de descobrir como os fatores naturais e antrópicos influenciaram nos processos de erosão e deposição de sedimentos no litoral piauiense entre os anos de 2015 e 2021. Para isto procurou-se observar o desenvolvimento urbano no litoral do Trecho Entre Rios, como as ações humanas no local influenciam no processo de erosão e deposição de sedimento, e, como os processos de erosão e deposição de sedimentos influenciam na disposição da linha de costa.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira do Piauí, segundo Brasil (1996), está quase totalmente inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba, criada pelo decreto Federal de 28 de agosto de 1996, compreendendo uma área aproximada de 313.800ha, que engloba os municípios de Parnaíba, Ilha Grande, Luís Correia e Cajueiro da Praia, no estado do Piauí, além das águas jurisdicionais, objetivando proteger o ecossistema costeiro e melhorar a qualidade de vida dos habitantes do local.

Vale destacar que o fato de a zona costeira piauiense estar inserida em uma APA do tipo Uso Sustentável, o que a torna uma área protegida legalmente, tendo um peso maior na conscientização ambiental e de valorização da biodiversidade e geodiversidade, cultura e natureza local, sendo fatores que propiciam o pensamento conservacionista.

Figura 1 - Trecho Entre Rios, composto pelos municípios de Parnaíba e Ilha Grande Santa Isabel



Fonte: RapidEye (2028).

A orla do Trecho Entre Rios apresenta um pequeno núcleo urbano na praia da Pedra do Sal (Figura 2), a imagem está um pouco inclinada o pode representar um pouco de distorção na representação dos elementos, localizada a 15 km da cidade de Parnaíba, enquanto o lado Leste e lado oeste da praia não apresenta sinais relevantes de urbanização.

Figura 2 - Núcleo urbano da Praia Da Pedra do Sal



Fonte: Google Earth (2022).

Em relação às formações dunares, baseada nas informações de Cavalcanti (1996), citado por Silva (2019), afirma-se que as dunas existentes na faixa litorânea do Piauí se sobrepõem aos sedimentos da Formação de Barreiras e caracterizam os sedimentos eólicos constituídos por depósitos holocênicos areno-quartzosos selecionados pelo transporte eólico cobrindo a litologia antiga dando origem aos campos de dunas.

Desta forma, de acordo com Cavalcante e Silva (*op. Cit.*), as unidades litoestratigráficas da planície costeira do Piauí podem ser caracterizadas pela presença de sedimentos do Terciário da formação de Barreiras e por sedimentos do período Quaternário, ambos pertencentes a era cenozoica, que podem ser percebidos pelas dunas e aluviões (Quadro 1). Existe uma complexa e dinâmica relação entre os elementos geológicos e das unidades litoestratigráficas da zona costeira piauiense, uma vez que os elementos geológicos são responsáveis pela formação e características da praia, que em contrapartida, influencia a transformação geológica da região.

Quadro 1 - Descrição das unidades lito estratigráficas da zona costeira piauiense

Era	Período	Unidades Litológicas	Litologia
Cenozoico	Quaternário	Aluviões	Areias, argilas e cascalhos/diatomitos.
		Dunas móveis	Areias esbranquiçadas, quartzosas, finas a média/eólico litorâneo e fluviomarinhas.
		Dunas estabilizadas	Areias finas a média, coloração de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhada na base/eólico litorâneo.
	Terciário	Formação Barreiras	Arenitos argilosos, coloração variegada (tons avermelhados, alaranjados e esverdeados, granulação fina a média).

Fonte: Cavalcante (1996), adaptado pelo Autor.

Os sedimentos arenosos presentes na região, foram inicialmente transportados pelo rio Parnaíba até o oceano, onde sofreram os efeitos das correntes de deriva litorânea, sendo transportados de volta para a praia. Estes depósitos fluviais são os mais recentes, não consolidados, com granulometria diversificada, compostos por deposições trazidas pelos cursos de água, situados em faixas um tanto quanto estreitas, ao longo da praia em que se encontram.

As praias do litoral piauiense compartilham muitas das características destacadas até aqui, mas, cada uma apresenta detalhes próprios conforme sua morfologia e uso. Destacando-se o litoral de Parnaíba, apresenta a formação

rochosa da Pedra do Sal, (Figura 3), com boa visibilidade, que divide a praia em dois lados distintos.

Figura 3 - Formação rochosa Pedra do Sal



Fonte: Silva (2019, p. 150)

O nome praia da Pedra do sal vem do Promontório rochoso localizado nesta praia, já que o nome “Pedra do Sal” vem da acumulação de sal nas cavidades graníticas (Figura 4), em virtude da evaporação de água salgada nelas depositadas, deixando depósitos de sal, e de suas espumas brancas.

Figura 4 - Acúmulo de sal nas cavidades graníticas da Pedra do Sal



Fonte: Silva (2019, p. 151).

O promontório rochoso dividi o litoral de Parnaíba em dois lados, sendo lado Leste (Figura 5), que é chamado de praia brava devido à formação de ondas muito altas que arrebatam longe da face de praia e decaem à medida que dissipam energia o lado oeste conhecido como praia mansa (Figura 6), protegida pelo promontório, apresentando maior declividade e ondas mais baixas, onde os pescadores atracam suas canoas.

Figura 5 - Praia Brava no lado Leste do promontório rochoso do litoral de Parnaíba com ondas mais altas e violentas



Fonte: O autor (2022).

Figura 6 - Praia mansa no lado oeste do promontório do litoral de Parnaíba



Fonte: Adaptado de Silva (2019, p. 153).

O litoral de Parnaíba, segundo Reis e Batista (2012), citados por Silva (2019), se diferencia das demais praias do litoral piauiense devido às suas características geológicas e geomorfológicas, e em função da dinâmica do oceano que proporcionam formações e feições singulares na região, tornando-o único no Estado.

Em síntese, o Trecho Entre Rios abrange os municípios de Parnaíba e Ilha Grande Santa Isabel, situados entre os rios Parnaíba e Igarapé. Esta área apresenta uma densidade populacional relativamente baixa em comparação a outras regiões costeiras do Nordeste e do Brasil, bem como um fluxo turístico reduzido. No entanto, a dinâmica natural das correntes marítimas, combinada com ações antrópicas, tais como construção de residências e remoção de sedimentos, tem ocasionado alterações significativas na linha de costa. Notavelmente, observa-se um processo de erosão mais acentuado em um lado do trecho em relação ao outro.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi utilizada a plataforma C.A.S.S.I.E para realizar o mapeamento temporal, que incluiu a seleção do satélite adequado, a demarcação da área de interesse, a determinação da porcentagem de cobertura de nuvens, a definição do período de amostragem e a configuração da extensão e do espaçamento entre os transectos (conforme ilustrado no Quadro 2). A coleta de dados foi focada nos setores Oeste e Leste do Trecho Entre Rios. O promontório rochoso da praia Pedra do Sal (PPS) foi excluído deste processo de coleta devido à sua natureza como indicador de erosão, sendo utilizado como referência na delimitação entre os setores Oeste e Leste.

Quadro 2 - Parâmetros usados na coleta de dados pelo C.A.S.S.I.E

Satélite utilizado	Satélite Sentinel 2, para coletar as imagens entre os anos de 2015 e 2020.
Área de interesse.	Litoral do município de Paraíba e parte do litoral de Ilha Grande Santa Isabel, que compõem o Trecho Entre Rios.
Escolha do início e do fim do período de coleta.	Foi escolhido o recorte temporal entre 2015 e 2020.
Porcentagem da cobertura de nuvens.	A porcentagem da cobertura de nuvens foi estabelecida em cinco por cento (5%).
Parâmetros de análise <i>transectos</i> .	Os parâmetros dos <i>transectos</i> foi estabelecido em mil e seiscentos (1600) metros de extensão e cem (100) metros de espaçamento.

Fonte: O autor (2024).

Em seguida, os dados coletados foram empregados na construção de mosaicos, onde os arquivos foram processados para formar uma única imagem coesa. Posteriormente, esses mosaicos foram submetidos a um processo de normalização, com o objetivo de assegurar uma aparência homogênea. Tal procedimento visa facilitar a interpretação e a compreensão das informações obtidas.

Foi realizada uma análise detalhada da variação da linha de costa, fundamentada na premissa de que, conforme apontado por Jesus e Andrade (2018, p. 2), “as variações na configuração da linha de costa podem ou não estar relacionadas com as variações nos perfis topográficos das praias”. Esta análise buscou compreender o padrão de comportamento da costa ao longo de um determinado período, bem como identificar eventuais processos de erosão e/ou deposição de sedimentos.

As áreas analisadas foram classificadas em quatro categorias distintas: estáveis, erodidas, criticamente erodidas, e de deposição de sedimentos. Estas categorias foram representadas no mapa com as cores verde, laranja, vermelho e

azul, respectivamente (Figura 7). A utilização dessas cores visa proporcionar uma melhor compreensão da distribuição dos processos erosivos que ocorrem no litoral piauiense, facilitando a visualização e a análise das mudanças na linha de costa.

Figura 7 - Cores dos processos de estabilidade, erosão, erosão crítica e deposição de sedimentos



Fonte: O autor (2022).

Em relação aos indicadores de erosão na zona costeira, Souza, *et. al.* (2005), destacam uma série de indicadores, dos quais alguns podem ser encontrados no Trecho Entre Rios (Quadro 3):

Quadro 3 - Indicadores de erosão costeira no Trecho Entre Rios.

I	Pós-praia muito estreito ou inexistente devido à inundação permanente durante as preamares de sizígia (praias urbanas ou não).
II	Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com diminuição da largura da praia em toda sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanas ou não).
III	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias ou escapamento em dunas ou terraços marinhos (praias urbanas ou não).
IV	Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, devido à erosão e soterramento causados pela Retrogradação/migração da linha de costa, ou por processo sobrelavagem (ilhas e praias barreiras).

V	Exumação e erosão de depósitos pelos lagunares, turfeiras, arenitos de praias ou terraços holocênicos e pleistocênicos, sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção dos areais, praias por erosão e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanas ou não).
VI	Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica, formados por sucessivas camadas e aterros soterrados por lentes de areias praias/dunares (contato entre a praias e a área urbanizada).
VII	Construção e destruição de estruturas artificiais erguidas sobre os depósitos marinhos e eólicos holocênicos que bordejam a praia, o pós-praia, o estirâncio, a face litorânea e/ou a zona de surfe.

Fonte: Souza, *et al.* (2005) adaptado pelo autor, (2022).

ÁREAS DE EROSIÃO E DEPOSIÇÃO NO TRECHO ENTRE RIOS

Um dos espaços mais vulneráveis, de acordo com Araújo, *et al* (2019), consiste na zona costeira, por se tratarem de espaços geográficos de interface entre continente, atmosfera e oceano, devido a esta alta dinâmica pode-se destacar a zona costeira brasileira que tem passado por mudanças geomorfológicas em função dos processos hidrodinâmicos, que aliados às mudanças climáticas e antrópicas podem causar problemas como a erosão e progradação, alterando significativamente a morfologia da zona costeira.

A linha de costa junto às desembocaduras é um exemplo comum de áreas de extrema dinâmica mudando em curtos espaços de tempo, independente da intervenção humana, mas sendo acelerada por ela, principalmente pelo processo de erosão. A erosão costeira, segundo Morais (1996) e Paula (2013) é um processo natural da zona costeira, contudo, este processo também pode afetar as atividades humanas.

No Trecho Entre Rios pode-se observar a presença do processo erosivo, destacando ainda que este tem causado prejuízos para a população local, uma vez que é possível observar residências e outras construções destruídas devido à retirada de sedimentos de sua base através erosão natural (Figura 8).

Figura 8 - Construções em processo de desmoronamento devido a retirada dos resíduos de sua base devido a erosão natural



Fonte: O autor (2021).

Vale destacar que além da erosão também existe o processo de progradação, que, segundo Miniguelle (2017) resulta do processo de formação, desenvolvimento e incorporação de pontais arenosos formados a partir da interação do aporte de sedimentos fluviais em conjunto com ação das ondas e correntes de deriva litorâneas formando sistemas do tipo barreiras-lagunas.

As alterações causadas pela erosão e progradação são evidentes na orla que, segundo Muehe (2001), representa uma faixa na qual a degradação ambiental desequilibra o balanço sedimentar, prejudicando a estabilidade da linha de costa.

DISTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS NO RECORTE TEMPORAL ENTRE 2015 E 2021

Os dados utilizados no presente estudo, referentes ao período de 2015 a 2021, foram coletados pelo satélite Sentinel-2 e disponibilizados através da plataforma C.A.S.S.I.E. A escolha do satélite Sentinel-2 foi fundamentada pela sua capacidade de fornecer dados em ciclos de coleta curtos, especificamente a cada 5 dias, o que permite a obtenção de uma quantidade significativa de informações em um curto intervalo de tempo. Essa característica é

particularmente vantajosa quando comparada a satélites com ciclos de coleta mais longos, que poderiam resultar na obtenção de menos dados para o período em estudo.

Através dos dados coletados, foi possível identificar os anos em que os processos de erosão, deposição de sedimentos e outras dinâmicas costeiras ocorreram com maior frequência em cada um dos setores analisados, conforme ilustrado na (figura 9). Esta análise detalhada contribuiu para uma compreensão mais profunda da dinâmica costeira no litoral piauiense, permitindo a identificação de padrões temporais e espaciais críticos.

Figura 9 - Processos existentes no Trecho Entre Rios, no ano de 2015 a 2021

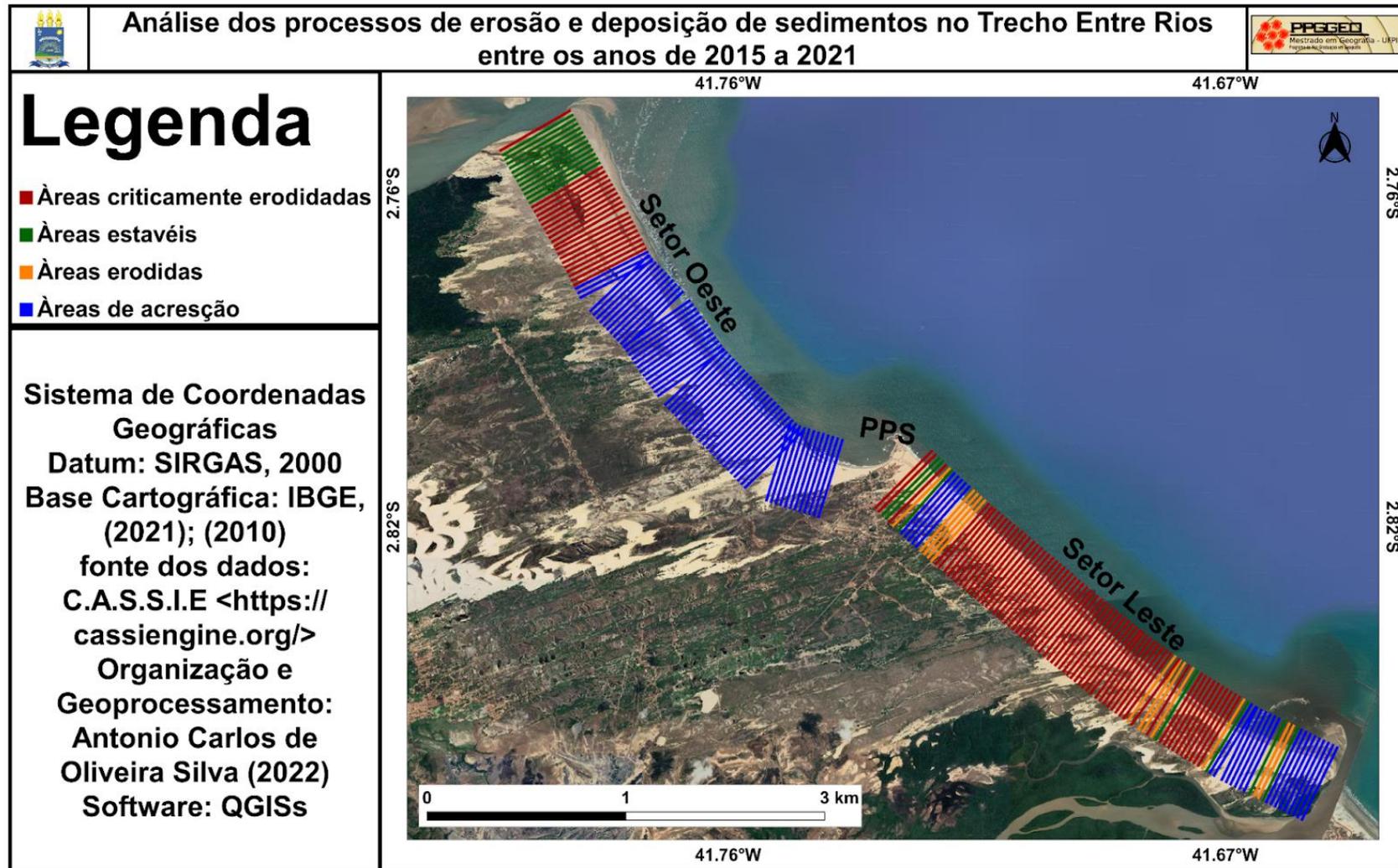
Ano	Processos no setor Leste				Processos no setor Oeste			
	Erosão	Erosão crítica	Deposição	Estabilidade	Erosão	Erosão Crítica	Deposição	Estabilidade
2015	Amarelo	Vermelho	Azul	Verde		Vermelho	Azul	Verde
2016			Azul			Vermelho		
2017	Amarelo	Vermelho	Azul	Verde		Vermelho	Azul	Verde
2018	Amarelo	Vermelho	Azul	Verde				
2019							Azul	
2020								
2021	Amarelo	Vermelho	Azul	Verde		Vermelho	Azul	Verde

Fonte: C.A.S.S.I.E (2022), adaptado pelo autor.

Durante o período analisado, observou-se que as áreas de erosão, erosão crítica e áreas estáveis no setor Leste apresentaram maior intensidade nos anos de 2015, 2017, 2018 e 2021. O processo de deposição de sedimentos foi registrado nos anos de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2021.

No setor Oeste, não foi detectado o processo de erosão, mas os outros três processos foram observados. A deposição de sedimentos ocorreu com maior frequência, sendo detectada em seis anos, de 2015 a 2017 e de 2018 a 2021. As áreas estáveis foram identificadas nos anos de 2015, 2017 e 2021, enquanto o processo de erosão crítica foi registrado nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2021. A plataforma não apresentou dados para os anos de 2019 e 2020 em nenhum dos setores. Os processos erosivos e deposicionais se distribuem de forma heterogênea na área (figura 10).

Figura 10 - Análise dos processos de erosão no Trecho Entre Rios entre os anos de 2015 e 2021



Fonte: C.A.S.S.I.E (2022), adaptado pelo Autor.

Ao analisar o mapa, pode-se observar que o setor Oeste apresenta os processos bem distribuídos em sua extensão, sendo que a maioria desta, da área central em direção à formação rochosa da PPS, apresenta pontos de deposição de sedimentos devido, principalmente por este trecho da área apresentar correntes marítimas mais calmas. Já nas proximidades da desembocadura do Rio Parnaíba nota-se a presença de áreas criticamente erodidas e por estar próxima a desembocadura do rio, o que causa maior atividade nas correntes marítimas, e de áreas estáveis na desembocadura devido a presença de formações vegetais próximas ao leito do rio e da praia.

Por outro lado, no setor Leste nota-se que a área central apresenta pontos de erosão crítica que ocupam uma grande extensão do setor o que pode ser explicado pelo fato de as correntes marítimas neste setor serem mais agitadas e também devido atividade humanas mais intensas neste trecho, o que ocasiona a maior retirada da proteção natural da costa. Enquanto próxima a formação rochosa da praia é mais evidente os processos de deposição, devido a presença do promontório e de estabilidade em um pequeno trecho. Já na desembocadura do Rio Igarapu, e em alguns outros pontos do setor, predomina o processo de deposição de sedimentos que podem ser explicadas devido as atividades marítimas causadas pelo encontro entre as correntes marítimas e fluviais, já as áreas de erosão e de estabilidade estão localizadas em pequenos pontos espalhados pelo setor.

Entende-se que uma quantidade maior de determinado processo surgindo em um setor, ou período, indica que ele tem ocorrido com maior intensidade neste. Tendo isto em mente pode-se observar que no período dentre os anos de 2005 e 2021, o processo de deposição de sedimentos ocorreu com maior intensidade no setor oeste, visto que a maior as áreas de deposição ocuparam a maior parte deste setor, enquanto as áreas de erosão crítica e de estabilidade se apresentaram em menor escala.

Em contra partido o setor leste apresentou um processo de erosão crítica mais intenso, visto que a maior parte deste apresentou áreas criticamente erodidas, seguida de áreas de deposição de sedimentos e poucos pontos de erosão e erosão crítica.

INDICADORES DE EROSIÃO NO TRECHO ENTRE RIOS

No setor leste foi observado que o pós-praia é mais estreito em alguns pontos, enquanto no setor oeste apresenta alguns pontos da duna frontal onde o mar adentra o continente durante a maré alta, causando a remoção ou deposição dos sedimentos durante este período, caracterizando brechas de duna (figura 11).

Figura 11 - Brechas de duna



Fonte: O autor (2022).

Destaca-se ainda as estruturas humanas afetadas pela erosão, concentradas próximas ao promontório rochoso da Praia da Pedra do Sal, onde pode-se encontrar casas em processo de desmoronamento devido a remoção de sedimentos, vale destacar que estas foram construídas em áreas de risco (figura 12), uma antiga pista de asfalto que está sendo destruída devido a erosão (figura 13), no restante do trecho predominam indicadores naturais de erosão, como rochas expostas (figura 14) e restos de mangues (figura 15).

Figura 12 - Casas em processo de desmoronamento



Fonte: O autor (2022).

Figura 13 - Asfalto destruído pela erosão.



Fonte: O autor (2022).

Figura 14 - Rocha exposta na praia.



Fonte: O autor (2022).

Figura 15 - Restos de mangue



Fonte: O autor (2022).

Ambos os setores ainda apresentam inúmeros indicadores de erosão, tanto naturais quanto artificiais, destaca-se a diferença na extensão dos pós-praia entre um setor e outro, pois enquanto o setor oeste que apresenta o pós-praia muito extenso o do setor leste é mais estreito, a distribuição dos indicadores de erosão na área de estudo também ocorre de forma desigual (figura 16).

Figura 16 - Disposição dos indicadores de erosão no Trecho Entre Rios



Fonte: O autor (2022).

Em uma análise mais ampla, o Trecho Entre Rio, apresenta uma gama de indicadores de erosão ao longo de sua linha de costa, a exemplo de indicadores observados com conseqüências para os seres humanos, como as estruturas urbanas em processo de desmoronamento devido a retirada de sedimentos, e

indicadores que não causam consequências para os seres humanos, como a presença de árvores em posição de vida, restos de mangues, rochas expostas, brechas de dunas, entre outros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de erosão e deposição de sedimentos é um fenômeno natural característico de toda a zona costeira brasileira, ocorrendo independentemente da intervenção humana, embora possa ser intensificado por esta. A principal influência antrópica na zona costeira decorre da urbanização, que resulta na remoção da vegetação natural protetora do solo, tornando-o mais suscetível à ação do vento e das chuvas.

Além de expor o solo à erosão, a urbanização causa alterações significativas na zona costeira através da construção de estruturas como edifícios, quiosques e rodovias próximas às praias. Essas atividades removem a cobertura natural do solo e promovem o deslocamento de sedimentos de um local para outro, tanto por ações naturais quanto por atividades humanas mecânicas que transferem sedimentos entre áreas. Embora os seres humanos contribuam para o processo de erosão, eles também sofrem as consequências deste fenômeno, visto que residências próximas ou localizadas nas praias têm seus alicerces comprometidos pela remoção de sedimentos, resultando em danos físicos às suas infraestruturas.

No contexto da zona costeira do Piauí, destaca-se o litoral do município de Parnaíba, situado entre as desembocaduras dos rios Parnaíba e Igarçu, conferindo uma característica única ao chamado Trecho Entre Rios. Esta área, em sua totalidade, apresenta um baixo grau de urbanização, concentrado principalmente nas proximidades da formação rochosa da Pedra do Sal, que dá nome à praia e a divide em setores oeste e leste. Ambos os setores exibem características que influenciam e são influenciadas pelo processo de erosão.

A análise da distribuição dos processos erosivos e deposicionais ao longo do período de estudo, de 2015 a 2021, revela que o setor oeste experimenta um intenso processo de deposição de sedimentos, enquanto o setor leste enfrenta uma erosão crítica. A erosão costeira no Trecho Entre Rios resulta em diversas

consequências, tais como a redução da largura da faixa de praia, a perda e o desequilíbrio dos habitats naturais, o aumento das inundações causadas por ressacas e a destruição de infraestruturas humanas na zona costeira, além da diminuição do valor paisagístico.

Algumas estratégias para mitigar a erosão e deposição costeira incluem a restauração de habitats costeiros, como manguezais e recifes, que auxiliam na proteção da costa contra a ação das ondas e correntes marinhas. A normalização do fluxo de sedimentos no sistema costeiro pode ser alcançada por meio da alimentação artificial de sedimentos, visando aumentar a largura da faixa de areia e prevenir o recuo da linha de costa. Adicionalmente, a construção de estruturas costeiras, como portos, quebra-mares, aterros e dragagens, e o reflorestamento das zonas costeiras desprovidas de construções humanas, são medidas que visam preservar a costa e evitar a erosão causada pelas ondas, correntes marinhas e ação eólica.

Propostas voltadas para a geoconservação e educação ambiental são fundamentais para a preservação da zona costeira. Implementar programas de educação ambiental nas comunidades costeiras pode aumentar a conscientização sobre a importância da conservação dos habitats naturais e das práticas sustentáveis. Além disso, a promoção de projetos de geoconservação que envolvem a participação ativa da comunidade local pode fortalecer a gestão integrada da zona costeira, garantindo a preservação dos recursos naturais e a resiliência das populações frente às mudanças ambientais.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. E. L. As bases históricas da formação territorial piauiense. **Geosul**, Florianópolis, v. 18, n. 36, p 55-76, jul/dez. 2003.

ARAÚJO, I. R. G. GOMES, É. R. GONÇALVES, R. M. QUIROZ, H. A. A. Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (ICV) para o litoral do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Brasil, v. 20, nº 1 p. 105-118, jan. 2019.

BRASIL. Decreto de 28 de agosto de 1996. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba, nos Estados do Piauí, Maranhão, e

Ceará, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 29 ago. 1996.

BAGHERI, S. **Environmental change and management of coastal zone: A global perspective**. Tradução do Google Tradutor. New York: Springer Nature, 2019. ISBN 978-3-319-99329-3.

DADOS SOBRE OS PROCESSOS DE EROSÃO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS. **C.A.S.S.I.E.** Disponível em: <https://cassiengine.org/>. Acesso em: 6 ago. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Parnaíba**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pi/parnaiba.html>. Acesso em 04 mar. 2022.

JESUS, M. M.; ANDRADE, J. S. Taxa de variação da linha de costa e faixas de proteção nas áreas contíguas à desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, Sergipe. **Pesquisa em Geociências**, v. 45, n. 2, p. 14-22, 2018.

PAULA, J. E, A. **Dinâmica Morfológica da Planície Costeira do Estado do Piauí**: Evolução, Comportamento dos Processos Costeiros e a Variação da Linha de Costa. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará-UFCE Instituto de Ciências do Mar-LOBOMAR- Ceará, 2013.

PESSOA, F. S. **Urbanização, segundas residências e turismos na zona costeira do Piauí**. Tese de Dissertação. Universidade Federal do Ceará Centros de Ciências Departamento de Geografia de Pós-Graduação em Geografia. Fortaleza, 2020.

PINHO, R. M. L, CARRIÇO, J. C. A urbanização na zona costeira e os impactos ambientais - O caso do RMBS no estado de São Paulo. **Leupoldianum**, Santos, ano 47, nº 131, 2021.

LIMA, E. Q. **Vulnerabilidade ambiental da zona costeira de Pititinga, Rio do Fogo, Rio Grande do Norte**. [2010]. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MINIGUELE, C. S. Detecção de mudanças ao longo do litoral de Gargaú, a partir do uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. *In*: XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da PUC - Rio, 2018, **Caderno de Resumos** [...] Rio de Janeiro: Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2018. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2018/resumos_pdf/ccs/GEO/GEO-4539_Caio%20Saraiva%20Miniguelle.pdf Acesso em 23 de jan. de 2023.

MOURA, M. R. **Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral Oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970-2008**. [2009]. 137p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Fortaleza, 2009.

MORAIS, J. **A arte de ler**. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, volume 2, nº 1, 2001. pp. 35-44.

SILVA, B. R. V. **Avaliação do Patrimônio Geológico-geomorfológico da Zona Litorânea Piauiense Para Fins de Geoconservação**. [2019] 231 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Teresina, 2019.

SILVA, A. C. O. **Resíduos na Praia da Pedra do Sal: Disposição, Gerenciamento e Consequências**. [2015]. 102 p. Monografia (Graduação) - Universidade Estadual do Piauí, Centro de Ciências Humanas e Letras, Licenciatura Plena em Geografia, Teresina, 2020.

SOUZA, A. P. Relações entre dinâmica costeira e processos de erosão e sedimentação: estudo de caso na praia de Itaipuaçu, Rio de Janeiro. **Estudos Geológicos**, 35(2), p. 17-28, 2015. doi:[10.5327/estgeol.2015.35.02.001](https://doi.org/10.5327/estgeol.2015.35.02.001).

SOUZA, C. R. G. SOUZA FILHO, P. W. M.; ESTEVES, L. S.; VITAL, H; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; HADDAD, J. E. Praias arenosas e erosão costeira. *In*: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K; OLIVEIRA, A. M. S. OLIVEIRA P. E. (eds.). **Quaternário do Brasil**. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. 382p.

Recebido em 23 de maio de 2024.

Aceito em 07 de novembro de 2024.