

ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DA EROSÃO EM SISTEMAS COSTEIROS AMAZÔNICOS NO PERÍODO DE 1984 A 2024

Flávia Rabelo **MOCHEL**

Profa. Dra. Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Laboratório de Recuperação de Manguezais (LAMA/CERMANGUE) –
Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI, São Luís, MA, Brasil
E-mail: flavia.mochel@ufma.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>

Fabrcio Ferreira **BALTAZAR**

Diretor Geral, UEB Bandeira Tribuzzi
Secretaria Municipal de Educação, Paço do Lumiar, MA, Brasil
E-mail: fabricao.baltazar@hotmail.com

Deuzamir da Conceição Amorim **LIMA**

Doutoranda PRODEMA, Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Oceanógrafa do Laboratório de Recuperação de Manguezais (LAMA/CERMANGUE) –
Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI, São Luís, MA, Bras
E-mail: deuzamiroceano@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-8432-5016>

Denilson da Silva **BEZERRA**

Prof. Dr. Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
E-mail: denilson.bezerra@ufma.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9567-7828>

*Recebido
Dezembro de 2024*

*Aceito
Dezembro de 2024*

*Publicado
Janeiro de 2025*

Resumo: Realizou-se a análise espaço-temporal da Ilha de Boa Vista de São João, litoral maranhense de Luís Domingues, para verificar as transformações ocorridas nos ecossistemas costeiros de 1984 a 2024, resultantes de processos erosivos. Para os mapeamentos foram utilizadas imagens Landsat 5-TM, 8-OLI e Sentinel 2, órbita-ponto 222-61, do município de Luís Domingues, nos anos 1984, 2015 e 2024. As imagens foram geoprocessadas com o

programa QGIS 3.28.6. para produção de mapas e cartas temáticas. Os resultados revelaram que paisagem costeira é constituída por extensos manguezais, apicuns, marismas, praias, baías, estuários, rios, ilhas aluvionares, lagoas salobras, vegetação de terra firme, várzeas e restingas. Na Ilha de Boa Vista de São João, os ecossistemas principais observados foram manguezais, apicuns, praias e marismas. Os manguezais são o ecossistema predominante na paisagem, (90%), seguidos pelos apicuns (8%), marismas (1%) e praias/cordões arenosos(1%) . A análise multitemporal das imagens revelou, entre 1984 e 2015, o desaparecimento de cordões arenosos, a redução nas dimensões de feições costeiras na Ilha de Boa Vista de São João. Nos anos de 1984, 2008 e 2011 as perdas de áreas foram verificadas em manguezais, apicuns, marismas e praias na Ilha de Boa Vista. Constatou-se a perda progressiva de manguezais: 488,160 ha em 1984; em 2015 a área compreendia 278,820 ha e, em 2024, a área restante contabilizou 242,901 ha. Em 2024 ocorreu aumento apenas nas áreas de praias e apicuns em consequência do processo de sedimentação. As mudanças nos ecossistemas costeiros contabilizaram, no total, uma área de 915,93 ha em 1984. Em 2015 essa área foi 539,55ha e, em 2024, a área aumentou para 751,949ha. Recomenda-se associar estudos locais, de campo, com análises de imagens de satélite de diferentes sensores para avaliar com maior precisão as alterações na zona costeira provenientes dos processos de erosão e deposição.

Palavras-chave: processos erosivos; mudanças ambientais; mapeamento costeiro.

REMOTE SENSING ANALYSIS OF EROSION IN AMAZONIAN COASTAL SYSTEMS FROM 1984 TO 2024

Abstract: A spatio-temporal analysis of the Island of Boa Vista de São João, on the coast of Luís Domingues, was carried out to verify the transformations that occurred in coastal ecosystems from 1984 to 2024, resulting from erosive processes. For the mappings, Landsat 5-TM, 8-OLI and Sentinel 2 images, orbit-point 222-61, of the municipality of Luís Domingues, in the years 1984, 2015 and 2024, were used. The images were geoprocessed with the QGIS 3.28.6 program. for the production of maps and thematic charts. The results revealed that the coastal landscape consists of extensive mangroves, apicuns, marshes, beaches, bays, estuaries, rivers, alluvial islands, brackish lagoons, upland vegetation, floodplains and sandbanks. On the island of Boa Vista de São João, the main ecosystems observed were mangroves, apicuns, beaches and marshes. Mangroves are the predominant ecosystem in the landscape, (90%), followed by apicuns (8%), marshes (1%) and sandy beaches/ridges (1%). The multitemporal analysis of the images revealed, between 1984 and 2015, the disappearance of sandy cords, the reduction in the dimensions of coastal features on the Island of Boa Vista de São João. In the years 1984, 2008 and 2011 the losses of areas were verified in mangroves, apicuns, marshes and beaches on the island of Boa Vista. The progressive loss of mangroves was observed: 488,160 ha in 1984; in 2015 the area comprised 278,820 ha and, in 2024, the remaining area accounted for 242,901 ha. In 2024, there was an increase only in the areas of beaches and apicuns as a result of the sedimentation process. Changes in coastal ecosystems accounted for a total area of 915.93 ha in 1984. In 2015 this area was 539.55ha and, in 2024, the area increased to 751,949ha. It is recommended to associate local field studies with analysis of satellite images from different sensors to more accurately assess the changes in the coastal zone from erosion and deposition process

Keywords: erosive processes; environmental changes; coastal mapping.

ANÁLISIS DE TELEDETECCIÓN DE LA EROSIÓN EN LOS SISTEMAS COSTEROS AMAZÓNICOS DESDE 1984 HASTA 2024

Resumen: Se realizó un análisis espacio-temporal de la isla de Boa Vista de São João, en la costa de Luís Domingues, para verificar las transformaciones ocurridas en los ecosistemas costeros desde 1984 hasta 2024, como resultado de procesos erosivos. Para los mapeos se utilizaron imágenes Landsat 5-TM, 8-OLI y Sentinel 2, orbit-punto 222-61, del municipio de Luís Domingues, en los años 1984, 2015 y 2024. Las imágenes fueron geoprocesadas con el programa QGIS 3.28.6. para la elaboración de mapas y cartas temáticas. Los resultados revelaron que el paisaje costero está conformado por extensos manglares, apicuns, marismas, playas, bahías, esteros, ríos, islas aluviales, lagunas salobres, vegetación de tierras altas, llanuras aluviales y bancos de arena. En la isla de Boa Vista de São João, los principales ecosistemas observados fueron manglares, apicuns, playas y marismas. Los manglares son el ecosistema predominante en el paisaje (90%), seguido de los apicunes (8%), las marismas (1%) y las playas/cordilleras arenosas (1%). El análisis multitemporal de las imágenes reveló, entre 1984 y 2015, la desaparición de los cordones arenosos, la reducción de las dimensiones de los accidentes costeros en la isla de Boa Vista de São João. En los años 1984, 2008 y 2011 se verificaron las pérdidas de áreas en manglares, apicunes, ciénagas y playas de la isla de Boa Vista. Se observó la pérdida progresiva de manglares: 488.160 ha en 1984; En 2015 la superficie era de 278.820 ha y, en 2024, el resto de 242.901 ha. En 2024 se registró un incremento solo en las áreas de playas y apicuns como consecuencia del proceso de sedimentación. Los cambios en los ecosistemas costeros representaron una superficie total de 915,93 ha en 1984. En 2015 esta superficie fue de 539,55ha y, en 2024, la superficie aumentó a 751.949ha. Se recomienda asociar los estudios de campo locales con el análisis de imágenes satelitales de diferentes sensores para evaluar con mayor precisión los cambios en la zona costera por los procesos de erosión y deposición.

Palabras clave: procesos erosivos; cambios ambientales; cartografía costera.

INTRODUÇÃO

A linha de costa varia ao longo do tempo devido a fatores como as oscilações do nível do mar, a dinâmica das praias e eventos extremos, como tempestades e seu posicionamento fornece vários indicadores (Valderrama-Landeros e Flores-de-Santiago, 2019) importantes para o monitoramento e planejamento da gestão costeira.

Mudanças morfológicas na região costeira causam alterações nos ecossistemas costeiros e comunidades, afetando a biodiversidade, a geodiversidade, a economia, a cultura e o bem-estar social (Basheer; Ahammed; Pandey, 2022; Barros *et al.*, 2020; Konko *et al.*, 2018). A erosão costeira pode causar o recuo do litoral, destruição de habitats e perda de terrenos, resultando em impactos socioambientais consideráveis ao redor do mundo pela perda da proteção conferida por ecossistemas como praias, manguezais e dunas, contra os efeitos de tempestades e furacões (Liang *et al.*, 2022).

Relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tem mostrado que as alterações no clima atual advêm de aumentos de temperatura em escala global e consequente aumento para o nível dos mares. A crise climática tem sido um elemento que impõe desafios para mitigação e adaptação aos efeitos do avanço do nível médio do mar e às mudanças no regime de chuvas e estiagem. Esses desafios são específicos a cada localidade e podem representar perdas consideráveis para a biodiversidade e para os seres humanos (Kelleway *et al.*, 2017). A erosão costeira impõe problemas desafiadores, como perdas dos ecossistemas e seus serviços, de propriedades públicas e particulares, assim como prejuízos à economia e comunidades tradicionais. No litoral amazônico brasileiro a erosão tem causado danos e prejuízos socioambientais, apesar da intensa deposição por sedimentos estuarinos (Souza e Andrade, 2024).

Situada na porção tropical da América do Sul, a zona costeira do Estado do Maranhão é a segunda mais extensa do Brasil, com 640 km, com regime semidiurno de macromarés, de até 7 metros de altura, e uma dinâmica muito expressiva (El Robrini *et al.*, 2012). A costa maranhense possui característica transgressiva, controlada por flutuações do nível do mar, submetida à neotectônica distensiva e exposta à correntes velozes, ventos alíseos de NE, encontra-se, em boa parte, sob erosão (El-Robrini, *et al.*, 2012). No litoral ocidental do Maranhão, denominado Reentrâncias Maranhenses, as planícies costeiras são profundamente recortadas, formando longos estuários que se abrem em enseadas e baías. A ampla rede hidrográfica e elevados índices de chuvas favorecem a intensa deposição de sedimentos, formando extensas planícies lamosas. As precipitações máximas superam 2.500 mm por ano, apresentando duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa (Kjerfve *et al.*, 2002). As precipitações são principalmente resultantes do efeito do posicionamento da Zona de Convergência Intertropical próxima ao litoral e, também, das Linhas de Instabilidade advindas da circulação da brisa marinha da Guiana Francesa até as Reentrâncias Maranhenses (El-Robrini *et al.*, 2012).

A totalidade do litoral ocidental maranhense, inserido no litoral amazônico, ou Amazônia Costeira, está incluído na Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses. Nessa região, interagem complexos geossistemas e ecossistemas onde predominam as exuberantes florestas de manguezais, estruturalmente bem desenvolvidas, com seus apícuns, contendo uma expressiva biodiversidade de fauna e flora, além de um mosaico de rios, igarapés, estuários, praias arenosas, dunas, restingas, marismas e matas de várzeas (Mochel, 2011). Esses ecossistemas costeiros geram emprego, renda e alimentos para os municípios da região. Em

suas áreas vivem e trabalham milhares de comunidades tradicionais, principalmente as de pescadores e remanescentes de quilombos. Por seus bens e serviços ecossistêmicos, o litoral ocidental maranhense foi decretado, também, como Sítio RAMSAR, por sua importância para as aves limícolas (Mochel, 2011). Há poucos impactos de origem humana nas Reentrâncias, considerando a baixa densidade demográfica nas áreas rurais e nas áreas insulares, comumente chamadas de “praias” pelas comunidades locais. Ainda assim, observa-se, nas sedes municipais, problemas com a falta de saneamento básico, a deposição de resíduos sólidos que são frequentemente queimados a céu aberto, e o desmatamento para construção de casas, cercas e postes. Merecem destaque os impactos naturais, que são as respostas aos eventos extremos como tempestades tropicais, salinização, erosão e assoreamento.

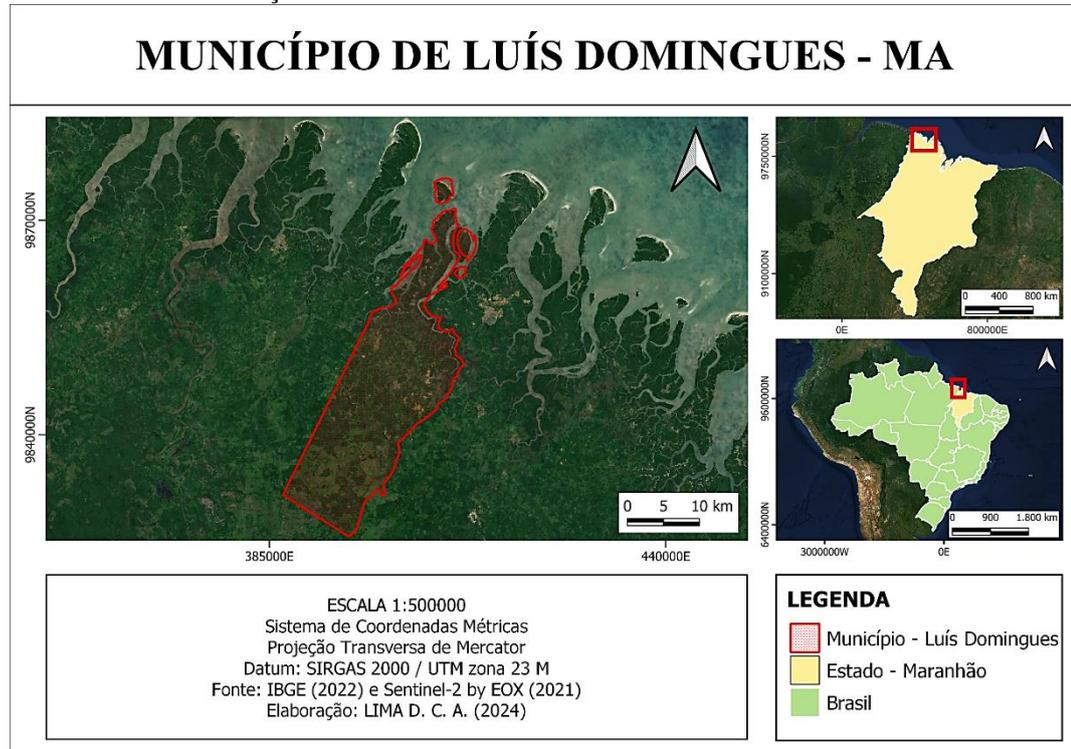
Realizou-se uma análise espaço-temporal na Ilha de Boa Vista, litoral ocidental maranhense do município Luís Domingues, para verificar as transformações ocorridas nos ecossistemas costeiros de 1984 a 2024, colocando em foco a vulnerabilidade socioambiental e a fragilidade dos ecossistemas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Luís Domingues situa-se à noroeste do Estado do Maranhão, pertencente à região do Gurupi, localizado nas coordenadas 1° 16' 4" S e 45° 52' 22" W com uma área total de 464,057 Km² e uma população de 6.510 habitantes (IBGE, 2010). Englobando os Biomas Zona Costeira e Bioma Amazônico, esse município integra a Área de Proteção Ambiental (APA) das Reentrâncias Maranhenses e inclui parte da Reserva Extrativista (RESEX) de Arapiranga-Tromaí (BRASIL, 2018). Está delimitado ao norte pelo Oceano Atlântico, ao sul pelo remanescente da floresta Amazônica de terra firme, ao oeste pelo Rio Iriri-açu e a leste pelo Rio Tromaí. Suas bacias hidrográficas são a de Maracaçumé e Tromaí que correspondem a 5% do seu território, distribuídas em uma área de 21 km² (IMESC, 2009) e seus principais rios são o Iriri-açu, Barreiro, Igarapé-açu e Tromaí (Figura 1). O clima é quente e úmido com temperaturas que variam de 21 a 32°C ao ano, apresenta um período chuvoso mais intenso em março e abril com média de 450 mm.

Figura 1 - Localização do município de Luís Domingues nas Reentrâncias Maranhenses, na Área de Proteção Ambiental- APA das Reentrâncias Maranhenses



Fonte: IBGE (2022); Sentinel-2 by EOX (2021). Organização: Os Autores (2024). Elaboração: LIMA, D. C. A. (2024).

De acordo com o CPRM (2012), a área que compreende ao manguezal é formada por solos aluvionares compostos de areias, pelitos e cascalho de depósitos fluviais recentes que datam da era Cenozóica e período Quaternário. São constituídos pelas areias de canais e pelitos de planícies de inundação e lagos de meandros abandonados (CPRM, 2001). Estas áreas sofrem influência das Unidades Suíte Intrusiva Tromaí e do Grupo Aurizona, caracterizadas pela constante presença de veios de quartzo, por vezes auríferos, emprestando as unidades um significativo interesse econômico para as mineralizações auríferas primárias (CPRM, 2012). As principais atividades econômicas da região são a pesca artesanal de peixes, camarões, extração de caranguejos, ostras, sururus e turus, agricultura de subsistência e garimpo de ouro. O ouro é extraído nas localidades de Cavala e Pagão (Margem do Iriri-açu), Caxias, Serra Oca, Jacaré, Jabuti e Pedra de Fogo.

Atividades de campo e laboratório

O levantamento e análise de dados bibliográficos e de séries históricas foram realizadas nas Bibliotecas Central e Setoriais da Universidade Federal do Maranhão, em sítios eletrônicos

da WEB, na Diretoria de Hidrografia e Navegação, da Capitania dos Portos, no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Os trabalhos de campo foram realizados entre os anos de 2012 e 2014. Informações sobre o município de Luís Domingues foram obtidas com os moradores mais antigos, idade mínima de 40 anos, em todos povoados, servindo como referência histórica e de guia local. Todos os povoados do município foram percorridos por via terrestre e marítima registrando-se as informações acerca das alterações costeiras locais, bem como das dificuldades acarretadas por elas. Também foram reconhecidos os portos do município, e visitados, também os ecossistemas locais apicuns, praias, manguezais e marismas. Por via marítima, o município foi percorrido desde seu limite com Godofredo Viana e até o limite com Carutapera, com desembarques na Ilha da Boa Vista para obtenção de informações e coleta de dados em praias, manguezais e apicuns. Em ambos os municípios, os rios e cursos d'água navegáveis foram percorridos até o limite do calado da embarcação. Durante as campanhas realizou-se o georeferenciamento dos locais visitados e pontos de coleta utilizando GPS *Garmin eTrex 30*, e o registro fotográfico com câmera digital. Os mapeamentos para a análise espacial e multitemporal das unidades de paisagem de Luís Domingues, foram realizados com imagens Landsat 5-TM, 8-OLI e Sentinel 2, órbita-ponto 222-61 (Quadro 1).

Quadro 1 - Características das imagens LANDSAT e SENTINEL utilizadas na pesquisa no município de Luís Domingues, MA

ÓRBITA	PONTO	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	BANDAS	DATA
222	61	5/TM	Multiespectral	30 m	3,4, 5	20/07/84
222	61	5/TM	Multiespectral	30 m	3,4,5	20/06/08
222	61	5/TM	Multiespectral	30 m	3,4,5	28/05/11
222	61	8/OLI	Multiespectral	30 m	2,3,4	2015
222	61	SENTINEL 2	Multiespectral	10 m	2,3,4	2024

Fonte: Autores (2024).

Para verificar as transformações ocorridas nos ecossistemas costeiros foi aplicada a classificação supervisionada por máxima verossimilhança em duas imagens raster de anos diferentes, 1984, 2015 e 2024 através da ferramenta Maximum Likelihood Classification (MAXVER) no ArcGis 10.5, utilizando 10 amostras para cada classe pré-determinada a partir da análise digital de imagem prévia. Foram treinadas 6 classes, dentre as quais: Mangue, Apicum, Marisma, Praia, Pluma de Sedimentos e Água. Após a classificação foi executada a ferramenta r.report para cálculo da área de cada classe em hectares e em quilômetros quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distintas unidades de paisagem presentes numa região indicam a existência de diferentes processos costeiros, continentais e muitas vezes antropogênicos, que devem ser considerados em conjunto, nas análises de ecossistemas e geossistemas, seja do ponto de vista da conservação, do manejo, da gestão, do planejamento ou dos impactos ambientais.

A paisagem costeira de Luís Domingues é composta por extensos manguezais, apicuns associados a marismas *Sporobolus virginicus*, *Batis maritima* e *Blutaparon portulacoides* (Figura 2) *Sesuvium portulacastrum*, *Eleocharis* spp., além de praias, baías, estuários, rios, ilhas aluvionares, lagoas salobras, vegetação de terra firme, várzeas, restingas e igarapés. As espécies de mangue da região são: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* (mangue negro), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Canocarpus erecta* (mangue-de-botão).

Figura 2 - Espécies de marismas observadas no litoral do município de Luis Domingues. (A) *Sporobolus virginicus*; (B) *Batis maritima* e (C) *Blutaparon portulacoides*



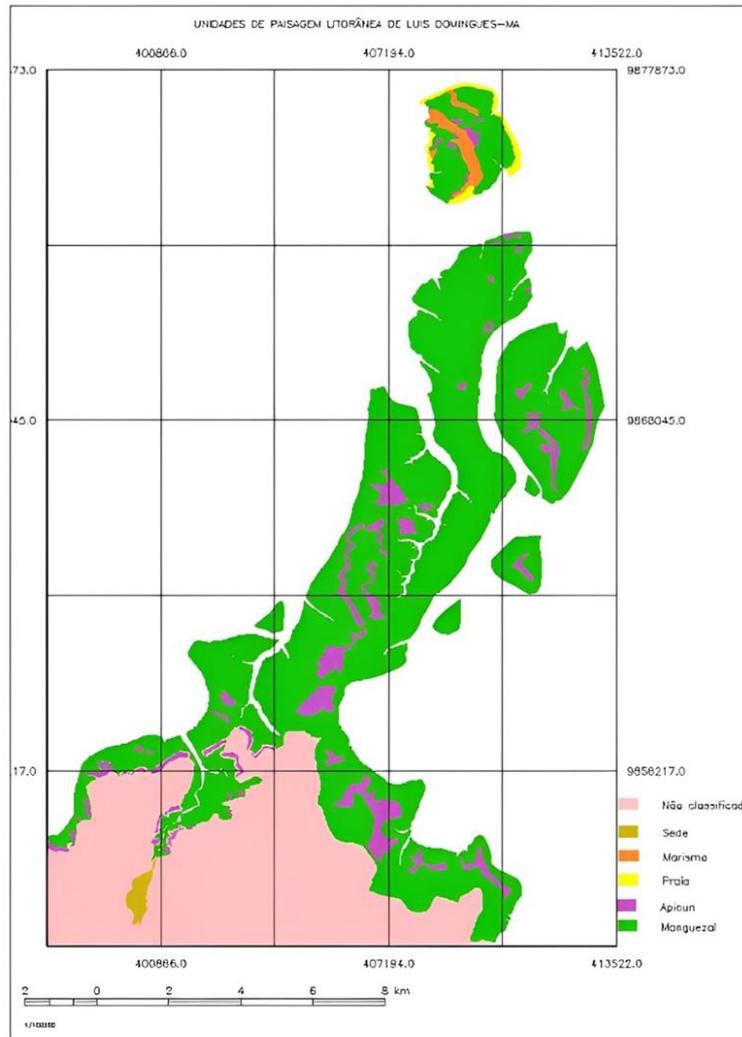
Fonte: Os autores (2024).

Os bosques de mangue compreendem uma sucessão de extensas zonas vegetacionais praticamente monoespecíficas, com fisiografia homogênea relativa (Mendes, 2005; Mochel, 2011). A dinâmica geomorfológica, sedimentológica e hidrodinâmica, agem intensamente na elaboração paisagística e as formações de “escada” (*Spartina* sp., *Laguncularia* sp., *Rhizophora* sp. e *Avicennia* sp.) e “paliteiro” (árvores adultas de *Avicennia* sp. e *Rhizophora* sp.) descritas por Mendes (2005) na costa paraense, também, são observadas em Luís Domingues.

O mapeamento realizado após a vetorização das unidades de paisagem mostrou que os apicuns localizados na porção continental do município de Luís Domingues eram numerosos e estavam distribuídos, em sua maioria, na interface médio/supralitoral, exercendo uma importante relação com os manguezais às margens dos rios Iri-ri-açu, Igarapé-açu e Tromai (Figura 3). Nas ilhas, como em Boa Vista de São João, os apicuns se apresentavam, muitas

vezes margeados por marismas que formavam campos de marismas hipersalinos, onde se encontravam encontradas pequenas lagoas de água salobra (Figura 3).

Figura 3 - Mapeamento vetorizado das unidades de paisagem do município de Luís Domingues, Landsat-5/TM com passagem em 20/06/08



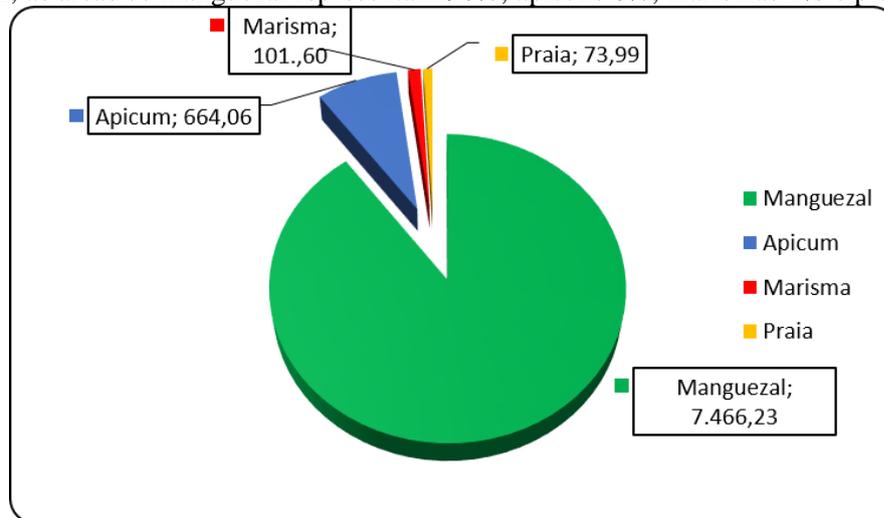
Fonte: Os autores (2024).

Praias e marismas foram mapeadas principalmente na Ilha de Boa Vista de São João. O mapeamento de manguezais mostrou que esses ecossistemas apresentam extensa distribuição no município seguido pelos apicuns. Em Luís Domingues, o mapeamento por segmentação de imagem gerou um número de classes satisfatórias para o mapeamento, demonstrando precisão na delimitação dos ecossistemas e na discriminação das marismas e apicuns. Antes desse processamento, os apicuns mostravam-se maiores do que realmente são, por estarem, muitas vezes, associados às áreas de marismas.

Os manguezais representaram o ecossistema predominante na paisagem, (90%), seguidos pelos apicuns (8%), marismas (1%) e praias/cordões arenosos (1%) (Figura 4). Os

apicuns localizados no continente eram numerosos e distribuídos, em sua maioria, na interface médio e supralitoral, exercendo uma importante relação com os manguezais às margens dos rios Iriri-açu, Igarapé-açu e Tromai.

Figura 4 - Área total (ha) por unidade de paisagem, na zona costeira do município de Luís Domingues. Em percentual, as áreas de manguezal representam 90%, apicuns 8%, marismas 1% e praias 1%



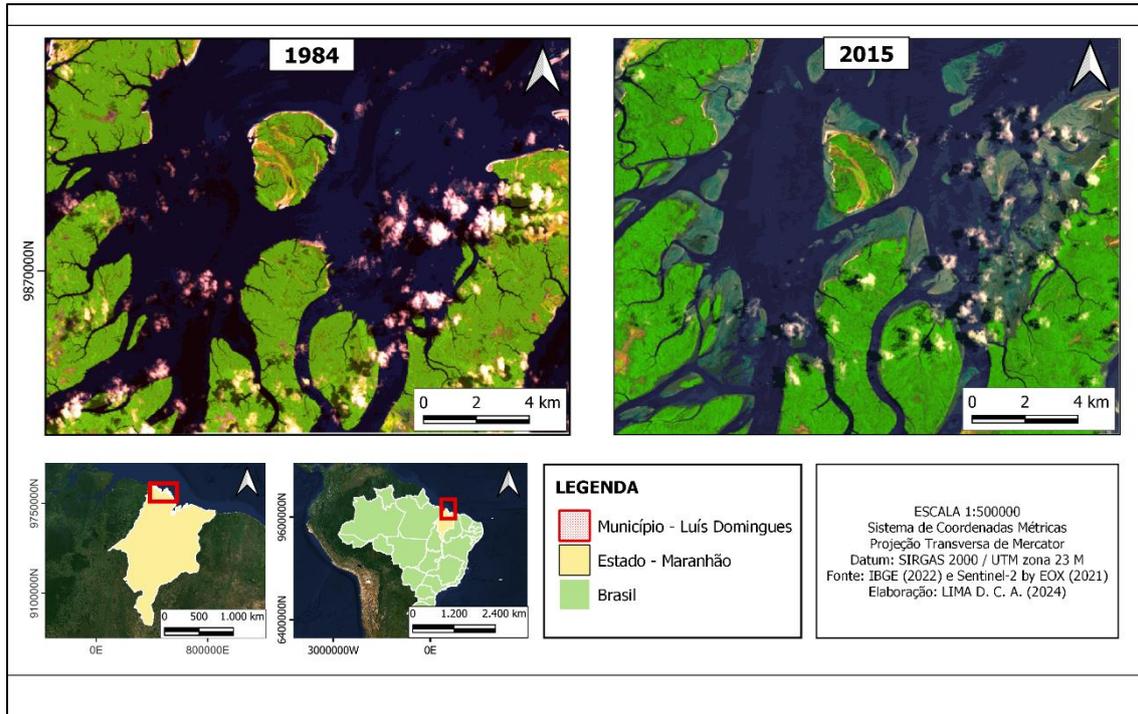
Fonte: Os autores (2024).

Os resultados mostraram um mosaico de ecossistemas intrinsecamente relacionados, identificando-se manguezais, apicuns, terra firme e praias onde suas funcionalidades, estrutura e relações com as demais unidades de paisagem dependem amplamente de sua conectividade.

A zona costeira é um sistema que se encontra num equilíbrio dinâmico, resultante da interferência de inúmeros fatores, quer sejam naturais quer sejam antrópicos, podendo ser chamada também de faixa litorânea, corresponde à zona de transição entre o domínio continental e o domínio marinho. É uma faixa complexa, dinâmica, mutável e sujeita a vários processos geológicos, físicos, químicos e biológicos. As ações das ondas, das correntes e das marés são importantes fatores modeladores, cujas consequências estão dispostas sob a forma de erosão ou deposição.

Em Luís Domingues, a análise multitemporal das imagens revelou, entre 1984 e 2015, as modificações fisiográficas marcantes foram o desaparecimento de cordões arenosos, a redução nas dimensões de feições costeiras como ilhas, e, em alguns lugares, o aumento de plumas de sedimentos nas águas estuarina e nas baías, com o surgimento de novos bancos de areia e lama (Figura 5).

Figura 5 - Alterações na fisiografia costeira ocorridas no município de Luís Domingues, destacando-se a Ilha da Boa Vista ao centro, nos anos de 1984 e 2015. Landsat 5 TM, 1984 (maré alta) e Landsat 8 OLI/TIRS, 2015 (maré baixa)



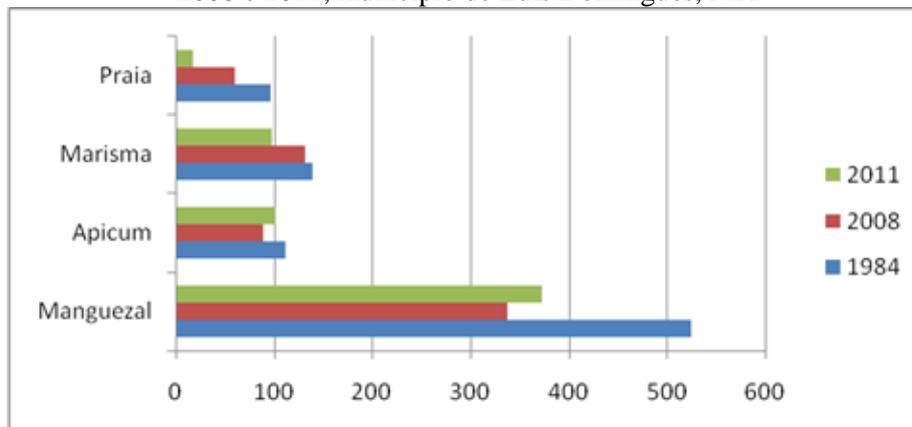
Fonte: IBGE (2022); Sentinel-2 by EOX (2021). Organização: Os autores (2024). Elaboração: LIMA, D. C. A. (2024).

No mapeamento multitemporal é visível a erosão ou recuo praial (Figura 5), que se trata de uma dinâmica natural recorrente nas Reentrâncias Maranhenses. Segundo Suguio (2003) esse fenômeno é oriundo do balanço sedimentar resultante dos processos de acreção costeira, lavagem por tempestade, braços de maré, estruturas costeiras, processos eólicos, transportes costa adentro e dos processos costeiros resultantes do regime de ondas, correntes de deriva litorânea, descarga fluvial, agradação ou incisão de vale, marés, ventos e tempestades. A erosão da linha de costa na área de estudo não é um caso local restrito, pois na literatura outros estudos podem ser citados como os realizados por Mendes (2005) na costa do Pará e Batista *et al.* (2009) na zona costeira dos cabos Cassiporé e Orange no Amapá e Nascimento (2009) em Macau no Rio Grande do Norte, dentre outros.

Na Ilha de Boa Vista é notável a transformação de 1984 a 2015 (Figura 5). Essas modificações estão relacionadas ao recuo da linha de costa e ao aumento e/ou diminuição de áreas de unidades de paisagem. No mapeamento do ano de 1984 há uma extensa faixa contínua de praia voltada para o Oceano Atlântico e a área da praia de Boa Vista é bem representativa (Figuras 5). Ao nordeste da ilha, observa-se um canal de maré de 375 m, que penetra na ilha e estreita gradativamente até o interior do mangue. No mapeamento de 2015 nota-se uma área

em intenso processo de erosão marinha no nordeste da ilha (Figura 5), o que representa uma perda, em comparação ao mapeamento de 1984, de aproximadamente 36,26 ha de manguezal. Nota-se, também, a redução da praia de Boa Vista, ao sul da ilha. Nos anos de 1984, 2008 e 2011 houve perdas de áreas de manguezais, apicuns, marismas e praias na Ilha de Boa Vista de São João (Figura 6). A oscilação na dinâmica costeira pode ser observada nos manguezais e apicuns que apresentaram redução de 1984 a 2008 e aumentaram de 2008 a 2011, apesar de sua área estar mais reduzida do que em 1984.

Figura 6 - Redução de áreas (ha) das unidades de paisagem na Ilha de Boa Vista nos anos de 1984, 2008 e 2011, município de Luís Domingues, MA

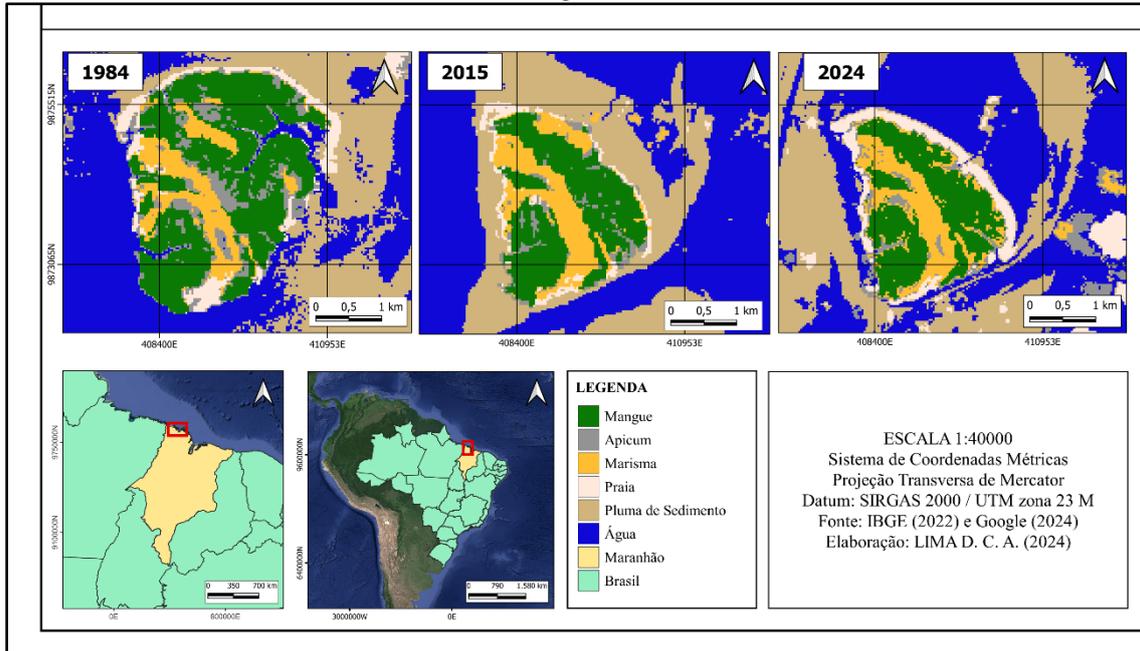


Fonte: Os autores (2024).

Uma das formas de erosão consideradas no presente estudo é resultante do desgaste provocado pelo impacto dos movimentos das ondas contra a costa. As formas de deposição são conseqüências da acumulação dos materiais arrancados pelo mar ou transportados pelos rios. Essa dinâmica é representada por uma evolução que aconteceu nestas áreas, onde ocorreram modificações, acumulações, desgastes e construções.

Nas Reentrâncias Maranhenses, as dinâmicas na linha de costa são direcionadas pela sedimentação e compactação tectônica, pelo aumento do nível do mar, ação das ondas, correntes e marés, pela provisão de sedimentos dos rios e pela dinâmica das atividades humanas sobre o espaço, o território, ao longo do tempo. Entre 2015 e 2024 observou-se outra transformação na zona costeira. A praia apresentou-se mais larga em 2024, do que em 2015, evidenciando um processo de deposição no entorno dos cordões arenosos (Figura 7).

Figura 7 - Transformações nas unidades de paisagem ocorridas na Ilha da Boa Vista, nos anos de 1984 e 2015. Landsat 5 TM, 1984 (maré alta) e Landsat 8 OLI/TIRS, 2015 (maré baixa), município de Luís Domingues, MA



Fonte: IBGE (2022); Google (2024). Organização: Os autores (2024). Elaboração: LIMA, D. C. A. (2024).

Quadro 2 - Modificações nas áreas das unidades de paisagem na Ilha de Boa Vista de São João, município de Luís Domingues, nos anos de 1984, 2015 e 2024

Unidades de Paisagem (Classe)	Ilha de Boa Vista de São João		
	Área (ha)		
	Data 1984	Data 2015	Data 2024
Mangue	488,160	278,820	242,901
Apicum	172,710	50,130	116,045
Marisma	147,690	158,220	156,679
Praia	107,370	52,380	236,324
Área dos ecossistemas TOTAL	915,93	539,55	751,949
Pluma de sedimento	987,030	786,486	1.278,747

Fonte: Os autores (2024).

Esse fato parece indicar que, na Ilha de Boa Vista, o material erodido de determinados pontos acumulou-se em outros locais através das plumas de sedimento, constituindo pontos de depósito sedimentar, causando o aumento da feição praial e dos apicuns. A alternância entre erosão e deposição em diferentes partes de uma zona costeira ocorre mundialmente, a exemplo da costa amazônica, e são respostas à diferenças na dinâmica costeira (Barros *et al.*, 2024). Por

outro lado, o manguezal foi o ecossistema que apresentou a maior área perdida entre 1984 e 2024 (Quadro 2). Nas coletas de campo, observou-se que, nas áreas erodidas, o manguezal apresenta diversas árvores de baixo porte.

Ao longo do litoral da Costa Rica, entre 1986 e 2019, observou-se acreção relacionada à foz de rios e erosão intensa nas praias, baseando-se em imagens Landsat e no seu processamento com GIS "Digital Shoreline Analysis System" (DSAS) (Barrantes-Castillo & Keilor Ortega-Ota'rola, 2023). A descarga de rios é um importante fator que contribui com sedimentos para a acreção da zona costeira (Valderrama-Landeros & Flores-de-Santiago, 2019; Liang *et al.*, 2022). Entretanto, em mepamentos utilizando Landsat TM, Landsat OLI e GIS DSAS, foi identificada uma alta taxa de erosão em diversas bacias hidrográficas na costa da Índia, entre 1988 e 2018, revelando uma tendência de recuo da linha costeira (Sekar *et al.*, 2024). Outro estudo, analisando as alterações na zona costeira da Índia, também com imagens Landsat 30m de resolução espacial e GIS DSAS, verificou que 71% da costa estava estável mais de 16% em erosão, e mais de 12% em acreção, nos anos 2000 a 2020 (Pereira *et al.*, 2022). Na Ilha de Boa Vista não há expressivas bacias hidrográficas que possam depositar sedimentos em volume suficiente para justificar acreção observada entre 2015 e 2024. Esse fato, reforça o ganho dos sedimentos por fatores oceanográficos como ventos, deriva litorânea, entre outros atuantes sobre a pluma de sedimentos e bancos de areia nas águas em torno da Ilha de Boa Vista de São João.

De acordo com El Robrini *et al* (2012), há poucos trabalhos sobre o transporte de sedimentos costeiros no litoral maranhense e, nos trabalhos investigados por esses autores, há informações que, no litoral oriental maranhense a deriva litorânea de sedimentos apresenta um sentido único, de leste para oeste. As praias são influenciadas principalmente pelas correntes de deriva litorânea (correntes longitudinais), marés e correntes fluviais. A erosão das praias é acelerada quando o déficit de fornecimento de sedimentos é superior em relação à taxa de remoção. Muitos autores têm considerado o aumento relativo do nível do mar como a causa mais importante da tendência à erosão das praias. Nas últimas décadas, a erosão ocorre em 70% das costas (Bird, 2008)

Boa Vista de São João está sujeita à fatores climáticos e oceanográficos presentes nas Reentrâncias Maranhenses como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), altas temperaturas do ar e elevados índices pluviométricos, ventos alísios de E-NE. Esses fatores parecem influenciar as alterações na remobilização de areias e plumas de sedimentos, assim como a energia de ondas geradas por ventos também contribuem com a morfodinâmica costeira

(Silva e Lima, 2016; Silva e Lima ,2017).Uma vez que erosão e sedimentação costeiras são processos muito dinâmicos e influenciados por um conjunto de fatores específicos, cujos cenários variam no tempo e no espaço, faz-se necessário estudo detalhado, dados locais, que aumentem a confiança nas ferramentas de previsões de respostas às mudanças climáticas (Masselink *et al .*, 2020; Pang *et al.*, 2023).

O grau de exposição à energia de ondas e marés, além de influenciar a ocorrência e a distribuição das comunidades biológicas do litoral, também é um indicador de vulnerabilidade à erosão costeira, como foi observado no litoral paraense (Negrão *et al.*, 2022). Considerando o grau de exposição à energia de ondas e marés, percebe-se que a costa de Luís Domingues é bastante vulnerável, o que implica em um maior grau de sensibilidade, logo, a área é menos sustentável em relação ao grau de exposição da costa e a capacidade de suportar as ações dos impactos naturais do ambiente (Figura 8). A exposição de uma costa ao mar e o potencial de formação das ondas determinam o impacto da energia das ondas sobre essa costa, fato que ocorre também no litoral norte fluminense (Machado *et al.*, 2024). As consequências das mudanças climáticas sobre a porção insular do município de Luís Domingues deve ser considerada, tanto em relação ao efeitos do aumento do nível do mar quanto alterações climáticas. É esperado que as taxas de erosão costeira aumentem mundialmente, ou até mesmo áreas que atualmente estão estáveis ou em acreção podem entrar em uma fase de erosão (Masselink *et al.*, 2020).

Figura 8 - Consequências do avanço do mar na Ilha de Boa Vista, município de Luis Domingues, MA, entre agosto e novembro de 2012



Fonte: Acervo Baltazar (2012).

A localização geográfica de Luís Domingues expõe esse município aos processos erosivos e sedimentares decorrentes da intensa dinâmica oceanográfica, especialmente a Ilha de Boa Vista de São João e demais ilhas.

A população de Luís Domingues, em sua maioria, está baseada em uma economia concentrada no litoral IBGE (2010). Na Ilha de Boa Vista identificou-se um conjunto de riscos socioeconômicos associados ao avanço do mar. A intensa dinâmica de erosão e assoreamento configura um elevado grau de sensibilidade ambiental. De acordo com Lima & Oliveira (2012), a feição mais típica do litoral, nessa região, é a praia, que é o conjunto de sedimentos depositados em constante movimentação, se ajustando às condições de ondas e marés sofrendo remodelagem constante.

O processo erosivo traz consigo o aumento da salinidade na água, acarretando efeitos adversos, como a retrogradação das florestas de mangue, a redução de dunas, a redução de habitats valiosos para plantas e animais e da produtividade costeira (Raha *et al.*, 2012). Esses processos acarretam forte influência sobre a população residente em ambientes litorâneos. Soluções de mitigação dos impactos da erosão costeira usadas no litoral amazônico são estruturas rígidas com baixa eficiência (Lopes e Andrade, 2024) algumas, porém, mostraram alguma proteção, retardando a erosão. Prejuízos em setores como pesca, habitação, abastecimento de água, assim como o déficit de informações técnico-científicas referentes ao município, ressaltam a relevância do conhecimento da dinâmica erosiva sobre a sustentabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os ecossistemas costeiros analisados, os manguezais foram os mais afetados pela erosão, apresentando uma perda progressiva de área em 40 anos, entre os anos 1984 e 2024. A área total de apicuns mostrou um déficit resultante da erosão, considerando-se o início e o final do período estudado. Embora tenha ocorrido uma diminuição muito acentuada de praias e apicuns, em 2015, constatou-se, ao final do estudo, um incremento dessas áreas, principalmente das praias, resultante de processos deposicionais. É possível que o aumento das praias e, em menor medida, dos apicuns tenha sido favorecido pela deposição das frações arenosas enquanto o declínio de manguezais e marismas pode ser atribuído ao transporte dos sedimentos finos, dos quais esses dois ecossistemas são dependentes. A pesquisa limitou-se à análise por sensoriamento remoto, que restringe a confirmação dessas questões e da interferência humana. É relevante a realização de estudos locais, tanto granulométricos, físicos e oceanográficos, quanto socioambientais, pois verifica-se o uso de recursos naturais, apesar da ocupação humana local ser muito reduzida. Recomenda-se associar estudos locais, de campo, com análises de imagens de satélite de diferentes sensores e ferramentas de geoprocessamento para avaliar com

maior precisão as alterações na zona costeira provenientes dos processos de erosão e deposição. Recomenda-se, também, envolver as comunidades em boas práticas integradas aos ODS, quanto às ações de educação ambiental, disposição de resíduos sólidos, desmatamento, restauração de matas ciliares e manguezais, visando o manejo sustentável e o enfrentamento das mudanças climáticas que podem exacerbar os processos erosivos ocasionando salinização, assoreamento de estuários, perda de serviços ecossistêmicos e de territórios.

REFERÊNCIAS

BARROS, V. de H. C. de B.; MENEZES, R. A. A.; PAULA, E. M. S. de; VELOSO, G. A. Alterações recentes da Linha Costeira na Região do Salgado Paraense (Amazônia Oriental-Brasil). **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 382-416, 2024. DOI: 10.46551/rvg2675239520242382416. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/verdegrande/article/view/7398>. Acesso em: 8 set. 2024.

BARROS, J. S.; PFALTZGRAFF, P. A. dos S. **Geodiversidade da ilha do Maranhão**. BARROS, José Sidney; BANDEIRA, Íris Celeste Nascimento (org.). Teresina: CPRM, 2020. (Levantamento da geodiversidade: nota explicativa).

BASHEER AHAMMED, K. K.; PANDEY, A. C. Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite data and geostatistics: A case study on the eastern coast of India. **Journal of Water and Climate Change**, [S.l.], v. 13 n.3, p. 1477-1493. March 2022; DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.270>.

BIRD, Eric Charles Frederick. **Coastal Geomorphology: an introduction**. 2. ed. Chinchester. Wiley and Sons, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 9.339, de 05 de abril de 2018**. Cria a Reserva Extrativista Arapiranga-Tromaí, localizada nos Municípios de Carutapera e Luís Domingues, Estado do Maranhão. Diário Oficial da União, Brasília, DF, de 05 abr. 2018; n. 197 da Independência, n. 130 da República. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/563694675/decreto-9339-18#art-3>. Acesso em: 01 ago. 2024.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Turiacu**, 2012. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/turiacu/turiacu_ctgeologico.pdf. Acesso em: 12 dez. 2012.

EL-ROBRINI, M.; MARQUES, J. V.; SILVA, M. M. A., EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUÇO, J. E. F.; DOS SANTOS, J. H. S.; VIANA, J. S Maranhão. *In: Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: MMA. MUEHE, D. (org.). Brasília, D.F., 2012. ISBN 85-7738-028-9. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao78_publicacao12122008084856.pdf e os outros capítulos disponíveis em <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 01 ago. 2024.

BARRANTES-CASTILLO, Gustavo; ORTEGA-OTÁROLA, Keilor. Coastal erosion and accretion on the Caribbean coastline of Costa Rica long-term observations. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.l.], v. 127, 2023, 104371, ISSN: 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104371>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: [http:// https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/luis-domingues/panorama](http://https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/luis-domingues/panorama). Acesso em: 03 jun. 2023.

KELLEWAY, J. J.; CAVANAUGH, K.; ROGERS, K.; FELLER, I. C.; ENS, E.; DOUGHTY, C.; SAINTILAN, N. Review of the ecosystem service implications of mangrove encroachment into salt marshes. **Global Change Biology**, [S.l.], v. 23, n.10, p. 3967-3983, 2017.

KJERFVE, B.; PERILLO, G. M.; GARDNER, L. R.; RINE, J. M.; DIAS, G. T. M.; MOCHEL, F.R. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America *In*: Healy, T., Wang, Y & Healy, J.-A. (ed.). **Muddy coasts of the world: Processes, deposits and functions**. Elsevier Science, 2002, p. 479-532.

KONKO, Y.; BAGARAM, B.; JULIEN, F.; AKPAMOU, K.G.; KOKOU, K. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images in the South of the Mono Transboundary Biosphere Reserve in Togo (West Africa). **Open Access Library Journal**, [S.l.], v.5, n. 4526, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4236/oalib.1104526>

LIANG, T.-Y.; CHANG, C.-H.; HSIAO, S.-C.; HUANG, W.-P.; CHANG, T.-Y.; GUO, W.-D.; LIU, C.-H.; HO, J.-Y.; CHEN, W.-B. On-Site Investigations of Coastal Erosion and Accretion for the Northeast of Taiwan. **Journal of Marine Science and Engineering**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 282, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse10020282>

LIMA, C. O.; OLIVEIRA, R. G. Os processos de erosão e progradação no município de Ilha Comprida- Sp. **Revista Geonorte**, [S.l.], Edição Especial, v.1, n.4, p.902 - 915, 2012.

LOPES, W.F.L.; ANDRADE, M.M.N. Análise de medidas estruturais de mitigação à erosão costeira no município de Belém, Pará, **Brasil Territorium**, [S.l.], v. 31 (I), p. 59-71 2024, Disponível em: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/> DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-1_5

MACHADO, B. A.; ROCHA, T. B. da; FERNANDEZ, G. B.; OLIVEIRA FILHO, S. R. de. Dinâmica da linha de costa no flanco meridional do delta do rio Paraíba do Sul entre 1954-2018: considerações sobre o fenômeno da erosão costeira em Atafona (RJ) e diferentes métodos de análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 25, n. 1, 2024. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v25i1.2272. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2272>. Acesso em: 8 set. 2024.

MASSELINK, G.; RUSSELL, P.; RENNIE, A.; BROOKS, S.; SPENCER, T. Impacts of climate change on coastal geomorphology and coastal erosion relevant to the coastal and marine environment around the UK. **MCCIP. Science Review**, [S.l.], p.158-189, 2020.

MOCHEL, F. R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. *In*: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. de (org.). **Amazônia**

Maranhense: diversidade e conservação. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011, p. 93-118. (v. 1).

NEGRÃO, Y. de S.; SOUSA, H. C.; RANIERI, L. A. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v. 23, n. 2, p.1264-1284, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i2.1951. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1951>. Acesso em: 20 ago. 2024.

PANG, T.; WANG, X.; NAWAZ, R. A.; KEEFE, G. ; ADEKANMBI, T. Coastal erosion and climate change: A review on coastal-change process and modeling. **Ambio**, [S.l.], v. 52, n. 12, p. 2034-2052, 2023.

PEREIRA, G. F.; GURUGNANAM, B.; GOSWAMI, S. *et. al.* Application of Geospatial Techniques to Determine Coastal Erosion and Accretion along the Ramanathapuram Shore, Tamil Nadu, India. **Journal of the Geological Society of India**, [S.l.], v. 98, n.9, p. 1261–1270, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12594-022-2161-4>

RAHA, A.; DAS, S.; BANERJEE, K.; MITRA, A. Climate change impacts on Indian Sunderbans: a time series analysis (1924–2008). **Biodivers Conserv**, [S.l.], v. 21, p. 1289-1307, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0260-z>

SEKAR, L.G.; ANDROWS, X.; ANNAIDASAN, K.; KUMAR, A., KANNAN, R., MUTHUSANKAR, G., BALASUBRAMANI, K. Assessment of shoreline changes and associated erosion and accretion pattern in coastal watersheds of Tamil Nadu, India, **Natural Hazards Research**, [S.l.], v. 4, n. 2, 2024, p. 231-238, ISSN: 2666-5921, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.09.008>.

SILVA, C.; LIMA, I. Falésia da Baronesa, Alcântara-Maranhão: formação e evolução recente. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.l.], v.1, p. 2758-2764, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i1.2017.1984>.

SILVA, C. H.S.; LIMA, I. M. M. F. Caracterização do terraço de abrasão da falésia da Baronesa e sua utilização na cidade de Alcântara–MA. **REGNE**, [S.l.], v. 2, Número Especial, 2016.

SOUZA, E. M. da S.; ANDRADE, M. M. N. de. Dinâmica da linha de costa na Zona Costeira Amazônica: estudo de caso na ilha de Atalia (Salinópolis, PA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 17, n. 4, p. 2911-2929, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.4.p2911-2929. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261144>. Acesso em: 11 set. 2024.

VALDERRAMA-LANDEROS, L.; FLORES-DE-SANTIAGO, F. Assessing coastal erosion and accretion trends along two contrasting subtropical rivers based on remote sensing data, **Ocean & Coastal Management**, [S.l.], v. 169, 2019, p. 58-67, ISSN: 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.006>

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão, à Prefeitura de Luís Domingues, ao Sr Davi Gomes, técnico do DEOLI, pelo apoio recebido em campo e em laboratório.