
MAPEAMENTO E ANÁLISE DE MUDANÇAS NA PAISAGEM COSTEIRA DA RESERVA EXTRATIVISTA DA BAÍA DO TUBARÃO- (RESEX, MA, BRASIL) UTILIZANDO ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI E NDWI EM IMAGENS LANDSAT 1984-2024

Kely Silva dos **SANTOS**

Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Brasil

Laboratório de Manguezais e Centro de Recuperação de Manguezais, (LAMA/CERMANGUE)

E-mail: kelyss001@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-8956-1026>

Deuzanir da Conceição Amorim **LIMA**

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Brasil

Laboratório de Manguezais e Centro de Recuperação de Manguezais (LAMA/CERMANGUE)

E-mail: deuzamiroceano@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-8432-5016>

Denilson da Silva **BEZERRA**

Doutor em Ciência do Sistema Terrestre

Prof. Dr. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Brasil

Laboratório de Manguezais, LAMA

E-mail: denilson.bezerra@ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9567-7828>

Prof. Dr. Bruno de Brito Gueiros **SOUZA**

Doutor em Geociências (Geoquímica)

Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), Brasil

E-mail: bruno.gueiros@icmbio.gov.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-2776-8245>

Edson Vicente da **SILVA**

Pós Doutor em Planejamento e Geoecologia da Paisagem

Prof. Dr. Universidade Federal do Ceará, Brasil Pesquisador PQ - CNPq

Laboratório de Geoecologia da Paisagem e Planejamento (LAGEPLAN)

E-mail: cacauceara@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5688-750X>

Flávia Rebelo **MOCHEL**

Pós Doutora em Geoecologia das paisagens, Saberes Tradicionais e Planejamento Ambiental

Profª. Dra. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Brasil

Laboratório de Manguezais e Centro de Recuperação de Manguezais (LAMA/CERMANGUE)

E-mail: flavia.mochel@ufma.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>

Recebido
Fevereiro de 2026

Aceito
Junho de 2026

Publicado
Junho de 2026

Resumo: A Reserva Extrativista (RESEX) Marinha da Baía do Tubarão, a maior do Brasil, é uma área-chave para a conservação costeira na Amazônia. Este estudo realizou uma análise multitemporal (1984-2024) da dinâmica da paisagem, visando mapear e quantificar mudanças nos ecossistemas costeiros. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 TM (1984) e Landsat 8 OLI (2024), submetidas a fusão pansharpening e processadas no software QGIS. Aplicaram-se os índices espectrais NDVI (Vegetação) e NDWI (Água), com classificação supervisionada (Random Forest) para identificar manguezais, apicuns, cordões arenosos, vegetação e corpos hídricos. Os resultados revelaram uma expressiva expansão e adensamento da cobertura de manguezal, com a classe de maior vigor fotossintético (NDVI Classe 5) aumentando 104% (de 167,15 km² para 341,73 km²). Simultaneamente, a análise do NDWI indicou uma reconfiguração da hidrodinâmica superficial, com expansão da área de influência marinha/estuarina (Classe 5) de 13,62 km² para 176,06 km² e redução de canais e áreas alagadas. A integração dos índices sugere um cenário de melhoria das condições da vegetação associado a intensas mudanças nos padrões de inundação, possivelmente vinculadas a fatores climáticos, morfodinâmicos e ao regime de proteção da unidade. Conclui-se que a RESEX tem sido eficaz na conservação da biomassa manguezal, mas é altamente sensível a forças hidrológicas. Os resultados subsidiam a gestão adaptativa da unidade, recomendando monitoramento contínuo da hidrodinâmica e o fortalecimento da governança participativa.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; geoecologia; ambientes costeiros.

MAPPING COASTAL LANDSCAPE CHANGES IN THE BAÍA DO TUBARÃO EXTRACTIVE RESERVE, (RESEX , MA, BRAZIL, USING LANDSAT-BASED NDVI AND NDWI INDICES 1984-2024

Abstract: The Baía do Tubarão Extractive Reserve (RESEX), the largest marine reserve of its kind in Brazil, is a key area for coastal conservation in the Amazon. This study conducted a multitemporal analysis (1984-2024) of landscape dynamics to map and quantify changes in coastal ecosystems. Landsat 5 TM (1984) and Landsat 8 OLI (2024) satellite imagery were used, undergoing pansharpening fusion and processed in QGIS software. Spectral indices NDVI (Vegetation) and NDWI (Water) were applied, with supervised classification (Random Forest) to identify mangroves, salt flats, sandbars, vegetation, and water bodies. Results revealed a significant expansion and densification of mangrove cover, with the highest photosynthetic vigor class (NDVI Class 5) increasing by 104% (from 167.15 km² to 341.73 km²). Concurrently, NDWI analysis indicated a reconfiguration of surface hydrodynamics, with an expansion of marine/estuarine influence area (Class 5) from 13.62 km² to 176.06 km² and a reduction in channels and flooded areas. The integrated index analysis suggests a scenario of improved vegetation conditions coupled with intense changes in flooding patterns, potentially linked to climatic and morphodynamic factors and the reserve's protection status. It is concluded that the RESEX has been effective in conserving mangrove biomass but remains highly sensitive to hydrological drivers. The results support the adaptive management of the reserve, recommending continuous monitoring of hydrodynamics and strengthening

participatory governance.

Keywords: remote sensing; protected area; coastal environments.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL PAISAJE COSTERO EN LA RESERVA EXTRACTIVISTA BAÍA DO TUBARÃO (RESEX,MA, BRASIL), A PARTIR DE ÍNDICES ESPECTRALES NDVI/NDWI CON IMÁGENES LANDSAT 1984-2024

Resumen: La Reserva Extractivista (RESEX) Marina de la Baía do Tubarão, la más grande de Brasil, es un área clave para la conservación costera en la Amazonía. Este estudio realizó un análisis multitemporal (1984-2024) de la dinámica del paisaje, con el objetivo de mapear y cuantificar cambios en los ecosistemas costeros. Se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5 TM (1984) y Landsat 8 OLI (2024), sometidas a fusión *pansharpening* y procesadas en el software QGIS. Se aplicaron los índices espectrales NDVI (Vegetación) y NDWI (Agua), con clasificación supervisada (*Random Forest*) para identificar manglares, apicuns, cordones arenosos, vegetación y cuerpos de agua. Los resultados revelaron una expansión y densificación significativa de la cobertura de manglar, con la clase de mayor vigor fotosintético (NDVI Clase 5) aumentando un 104% (de 167,15 km² a 341,73 km²). Simultáneamente, el análisis del NDWI indicó una reconfiguración de la hidrodinámica superficial, con expansión del área de influencia marina/estuarina (Clase 5) de 13,62 km² a 176,06 km² y reducción de canales y áreas inundables. La integración de los índices sugiere un escenario de mejora de las condiciones de la vegetación asociada a cambios intensos en los patrones de inundación, posiblemente vinculados a factores climáticos, morfodinámicos y al régimen de protección de la unidad. Se concluye que la RESEX ha sido eficaz en la conservación de la biomasa del manglar, pero es altamente sensible a los forzantes hidrológicos. Los resultados subsidian la gestión adaptativa de la unidad, recomendando el monitoreo continuo de la hidrodinámica y el fortalecimiento de la gobernanza participativa.

Palabras clave: teledetección; área protegida; ambientes costeros.

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras tropicais estão entre os sistemas ambientais mais dinâmicos e produtivos do planeta, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais, como proteção contra eventos climáticos extremos, berçário para a vida marinha e sequestro de carbono (Barbier, 2017). No Brasil, os ecossistemas de manguezais, que se intercalam com apicuns, cordões arenosos e vegetação de restinga, são componentes essenciais dessa paisagem, sustentando tanto a biodiversidade quanto as economias tradicionais de comunidades extrativistas (Ribeiro *et al*, 2024). A Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão, localizada no Complexo Estuarino do Golfão Maranhense, representa um destes territórios de uso sustentável, onde a conservação da biodiversidade está intrinsecamente ligada ao modo de vida de populações humanas (Brasil, 2018).

No entanto, essas paisagens costeiras estão sujeitas a intensas pressões de origem

antrópica e climática. A expansão urbana e portuária, a carcinicultura, a exploração de recursos e as alterações nos regimes hidrológicos e sedimentares ameaçam a integridade e a resiliência destes ecossistemas (Marengo *et al*, 2025). Diante deste cenário, o monitoramento sistemático e preciso da cobertura e uso da terra torna-se uma ferramenta indispensável para o planejamento territorial, a gestão adaptativa de unidades de conservação e a avaliação da efetividade de políticas públicas de conservação (Cavali, 2024; Tiengo *et al*, 2023)

O sensoriamento remoto orbital emerge como a ferramenta mais eficaz para analisar mudanças em larga escala e em períodos multidecenais. A série histórica de satélites Landsat, com mais de 50 anos de aquisições contínuas e gratuitas, fornece uma base de dados única para estudos de séries temporais. A utilização de índices espectrais derivados dessas imagens, como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e o Normalized Difference Water Index (NDWI), tem se mostrado robusta para discriminar e monitorar a fitomassa e a presença de água, permitindo a identificação de classes como manguezais, corpos d'água, solos expostos e vegetação secundária (Santos *et al*, 2020). A fusão de bandas multiespectrais com a pancromática, por sua vez, otimiza a resolução espacial, aprimorando o detalhamento das feições da paisagem (Mishra *et al*, 2024).

Apesar do crescente número de estudos aplicando geotecnologias aos manguezais brasileiros, ainda há uma lacuna no entendimento da dinâmica espaço-temporal de longo prazo em Unidades de Conservação de Uso Sustentável do Litoral Setentrional do Brasil, onde as pressões socioambientais e mudanças do clima são intensas (Marengo *et al*, 2025) . Investigações que integram a análise de múltiplas classes da paisagem costeira (manguezais, apicum, cordão arenoso, vegetação e solo exposto) em uma série temporal de quatro décadas são ainda mais escassas.

Este artigo tem como objetivo mapear e analisar as mudanças na paisagem costeira da RESEX da Baía do Tubarão, no estado do Maranhão, entre os anos de 1984 e 2024. Para tal, serão empregadas imagens dos sensores Landsat TM5 e OLI 8, submetidas a fusão espectro-espacial, e aplicados os índices NDVI e NDWI. Busca-se, com isso: i) quantificar as taxas de transformação e a trajetória das principais classes de cobertura; ii) identificar os vetores de pressão mais prováveis associados a essas mudanças; e iii) fornecer subsídios técnicos atualizados para a gestão da RESEX, contribuindo para a discussão sobre a conservação de ecossistemas costeiros sob uso tradicional.

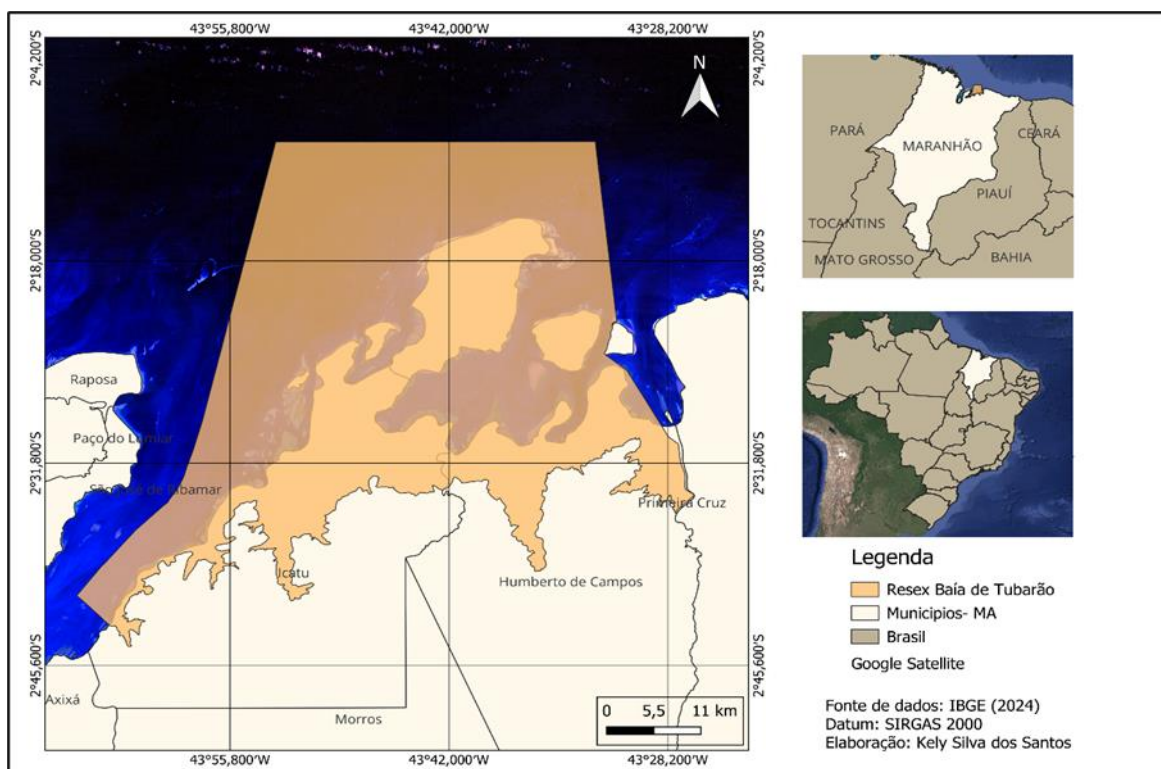
MATERIAIS E MÉTODOS

RESEX Marinha da Baía do Tubarão

O presente estudo foi conduzido na Reserva Extrativista (RESEX) Marinha da Baía do Tubarão, a maior unidade de conservação desta categoria no Brasil (BRASIL, 2018). Trata-se de uma Unidade de Conservação (UC) federal de uso sustentável, com natureza marinha-costeira, sob gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), abrangendo uma área total de 223.922 hectares (BRASIL, 2018).

Localizada na região do Litoral Oriental Amazônico, no estado do Maranhão, a RESEX está inserida em parte dos municípios de Icatu e Humberto de Campos, delimitada pelas coordenadas geográficas 02°29'31" S e 43°39'54" W (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização geográfica da Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão no litoral maranhense



Fonte: IBGE (2024). Elaboração: Kely Silva dos Santos. Organização: Os autores (2026).

Segundo o Censo Demográfico de 2022, os municípios de Icatu e Humberto de Campos em conjunto apresentavam uma população de 50.463 habitantes (IBGE, 2022), com sua economia local baseada na pesca artesanal (IBGE, 2021). A RESEX da Baía do Tubarão foi criada por meio do Decreto Federal nº 9.340, de 5 de abril de 2018, com o propósito fundamental de assegurar a conservação dos recursos naturais essenciais à subsistência das

comunidades tradicionais extrativistas locais. O decreto visa, concomitantemente, valorizar a cultura e os saberes associados, fortalecer práticas tradicionais para promoção social e econômica, e garantir a conservação ambiental e os serviços ecossistêmicos costeiros providos por manguezais e ambientes aquáticos (BRASIL, 2018). Adicionalmente, o instrumento legal busca fomentar a recuperação de recursos biológicos, assegurar a sustentabilidade do extrativismo pesqueiro de subsistência e promover o ecoturismo de base comunitária como alternativa socioeconômica viável para a população residente (BRASIL, 2018). Em 2020 foi criado o Núcleo de Gestão Integrada (NGI) da Baía do Tubarão (Brasil, 2020)

A RESEX, bem como toda a Baía do Tubarão, situa-se no interior da Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual Upaon-Açu – Miritiba - Alto Preguiças, configurando um mosaico de conservação. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso (tipo Aw), caracterizado por temperaturas elevadas e umidade, com estação chuvosa bem definida de janeiro a junho e estação seca de julho a dezembro (Marengo *et al*, 2025). O ambiente costeiro-terrestre é condicionado por um regime de macromarés, alto aporte sedimentar e intensa dinâmica hidrossedimentar, fatores determinantes para a evolução espacial dos ecossistemas costeiros ao longo do tempo (Kjerfve *et al*, 2002). Tais características geomorfológicas e hidrodinâmicas tornam a paisagem local particularmente sensível a processos naturais de erosão e deposição, bem como potencialmente mais vulnerável a mudanças ambientais aceleradas.

A Baía do Tubarão abriga uma notável biodiversidade associada a um complexo mosaico de ambientes, incluindo baías, rios, estuários, extensas florestas de manguezais, praias, restingas e apicuns. A região dispõe de uma das maiores e mais contínuas faixas de manguezais do Brasil, ecossistema que sustenta uma diversificada ictiofauna, base dos recursos pesqueiros explorados por comunidades tradicionais por meio de diversas artes de pesca (Instituto Socioambiental – ISA, 2024). Este ambiente complexo também funciona como área de desova e alimentação para espécies de tartarugas marinhas e constitui região de ocorrência do peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus manatus*), mamífero aquático classificado como ameaçado de extinção pela Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2024). Além disso, a área integra sítios de invernada e nidificação para aves migratórias neárticas (Brasil, MMA, 2018).

A RESEX é habitada por populações tradicionais, incluindo comunidades quilombolas, ribeirinhas e pescadores artesanais, cuja economia de subsistência está ancorada principalmente na pesca artesanal, complementada por atividades agrícolas de pequena escala

e criação de animais de pequeno porte, sendo a pesca artesanal amplamente praticada nos municípios da RESEX e de seu entorno (Monteles *et al*, 2014). A unidade de conservação é utilizada por 75 comunidades tradicionais, das quais 20 estão situadas no interior de seus limites e 55 comunidades no entorno imediato (BRASIL, 2020), totalizando aproximadamente 7.000 famílias cuja subsistência depende diretamente dos recursos naturais dos ambientes costeiros e estuarinos, especialmente da pesca artesanal e do extrativismo vegetal (Quadro 1).

Quadro 1 – Lista das Comunidades abrangidas pela RESEX da Baía do Tubarão

Município	Comunidades no interior da RESEX	Comunidades no entorno da RESEX
Icatu	Caratatiua, Mamuna, Olho d'Água, Palmeiras, Papagaio, Prainha, Santa Maria de Guaxenduba, Santo Antônio dos Caboclos, Serraria e Sumaúma.	Ananás, Armazém, Arraial, Axixá, Boa Vista dos Monroe, Boca da Mata, Boi Cavalo, Cabral, Camboa, Estirão, Fazenda, Itapera, Itatuaba, Jacaraí dos Vilelas, Jurupari, Jussatuba, Lagoa, Maparucaia, Mata, Monte Alegre, Pedro Gonçalo, Peral, Portinho, Retiro, Ribeira, Rio do Meio, Rio Manajui, Rio Novo, Salgado, Santa Isabel, São Miguel, São Paulo, Sertãozinho, Tapera de João Marcolino, Timbotiua e Vista Alegre.
Humberto de Campos	Cedro, Celeiro de Deus, Ilha de Carrapatal, Jurucutuoca, Ilha de Pedras, Ilha de Santana, Ilha do Gato, Ilha Grande, Porto da Roça e Santa Clara.	(i) Zona urbana (sede), os bairros: Areal, Bacabeira, Base, Centro, Lagoinha e Santo Antônio; (ii) Zona rural, as comunidades: Achuí, Apicum Grande, Areal, Assentamento, Bacabeira, Base, Cabaceiras, Centro, Chibate, Conceição, Curralinho, Flexeiras, Lagoinha, Manga, Monte Sombrio, Peba, Peria, Rampa, Santo Antônio, São Lucas, São Lucas Dois, Trizidela e Vagem de Vassoura.

Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

A implantação das Reservas Extrativistas formaliza os direitos territoriais de comunidades tradicionais que utilizam esses recursos para sua sobrevivência e as consubstancia na gestão participativa dos recursos naturais (Pires *et al*, 2025). Nesse contexto, a RESEX da Baía do Tubarão abriga e assegura a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais desde a proteção costeira com manguezais até o sequestro de carbono além de fortalecer os saberes ancestrais na busca por justiça socioambiental diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas projetadas pelo Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima - IPCC (2022)

A efetivação da RESEX da Baía do Tubarão resultou de um processo social articulado originado a partir de consultas públicas promovidas pelo Sindicato de Pescadores de Icatu e pela Colônia de Pesca de Humberto de Campos. A iniciativa visou conter ações antrópicas intensas na região, como a sobre-exploração e escassez de recursos, processos de devastação ambiental, conflitos fundiários, e os impactos associados à mudança do nível do mar,

buscando simultaneamente a diversificação da economia local. Este processo contou com o apoio de prefeituras municipais e outras organizações sociais para a mediação dos conflitos socioambientais existentes (MMA, 2018).

Aquisição e processamento de Dados

Para avaliar a distribuição espacial e a dinâmica da vegetação e da água superficial na Baía do Tubarão foram aplicados os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e de água por diferença normalizada (NDWI) utilizando, para o processamento digital de imagens e a análise espacial, o programa de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS versão 3.40.5.

Foram utilizadas imagens orbitais provenientes de sensores TM e OLI8, adquiridas a partir de plataformas de U.S. Geological Survey- USGS e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, complementadas bases de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. Entre os critérios de seleção das imagens foram priorizadas as cenas com baixa cobertura de nuvens, boa qualidade radiométrica, datas compatíveis com períodos de maior estabilidade atmosférica e nos anos delimitados (1984 e 2024). A definição desses critérios foi importante para reduzir interferências atmosféricas e garantir maior confiabilidade na resposta espectral dos alvos analisados

Foram adquiridas imagens dos satélites LANDSAT 5 TM (cena/path-row: 219/062) do ano de 1984 e LANDSAT 8 OLI (cena/path-row: 219/062) do ano de 2024. Para o sensor Landsat 5 TM, optou-se pela Coleção 2 devido às suas melhorias nas correções radiométrica e geométrica, o que garante maior consistência e confiabilidade para análises temporais (USGS, 2026). Para o sensor Landsat 8 OLI, utilizou-se a Coleção 1, que disponibiliza a banda pancromática (Band 8 – PAN), essencial para a etapa de fusão de imagens. Visando aprimorar a resolução espacial para a classificação detalhada, realizou-se o processo de pansharpening nas imagens Landsat 8 OLI. Esta técnica funde a imagem pancromática, com resolução espacial de 15 metros, com a imagem multiespectral, de resolução espacial de 30 metros, gerando uma composição multiespectral de alta resolução (15m), (Quadro 2).

Quadro 2 - Características das imagens LANDSAT utilizadas na pesquisa na RESEX do Tubarão, MA

ÓRBITA	PONTO	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	BANDAS	DATA
220	62	5/TM	Multiespectral	30 m	3,4, 5	20/06/1984
220	62	8/OLI	Multiespectral	30 m	4,5,6	12/07/2024
			Pancromática (PAN)	15 m	8	

Fonte: Autores (2026).

A aplicação dos índices baseou-se em bandas espectrais específicas, sensíveis às propriedades biofísicas da vegetação e da água. Foram calculados para ambas as datas: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI – Normalized Difference Water Index). o NDVI é um indicador da biomassa e saúde da vegetação) e o NDWI é sensível ao conteúdo de umidade na vegetação e é eficaz na detecção de corpos d'água e áreas alagadas.

Para cálculo do NDVI aplicou-se a Equação 1:

Equação 1: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$

Onde:

NIR banda do Infravermelho Próximo

Red banda do Vermelho (Red), (Equação 1).

Para o cálculo do NDWI aplicou-se a Equação 2:

Equação 2: $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$ (Equação 2)

Onde:

Green banda do Verde

NIR banda do Infravermelho Próximo

As imagens foram recortadas de acordo com os limites oficiais da Unidade de Conservação da Baía do Tubarão, para reduzir o volume de dados e evitar interferência de áreas externas na análise. Esses limites foram obtidos a partir de bases cartográficas institucionais disponibilizadas por órgãos ambientais oficiais responsáveis pela gestão de unidades de conservação.

Após o recorte das imagens foi feita a aplicação das equações matemáticas dos índices NDVI e NDWI no ambiente QGIS, aplicados para os anos de 1984 e 2024. O resultado

consistiu em dois arquivos em formato raster com a extensão .tiff, contendo valores contínuos variando de -1 a +1, onde são representados a intensidade e vigor da vegetação para o NDVI e a presença e distribuição de corpos hídricos para o NDWI. Os arquivos resultantes foram reprojatados, utilizando a ferramenta de raster “Reprojetar coordenada” para um sistema de coordenadas projetadas em unidades métricas, permitindo a análise da variação do índice por km² de área dentro dos limites da RESEX.

Os valores contínuos de cada índice foram classificados e posteriormente reclassificados em cinco intervalos temáticos para que fossem representados por classes com valores únicos (1 a 5), definidos dentro do intervalo total de -1 a +1. Foi utilizada a ferramenta de raster “Reclassificar por tabela” para definir estes intervalos temáticos com o intuito de viabilizar a extração dos dados de área na sequência. Ajustadas as classes, se seguiu o fluxo de processamento executando a ferramenta de raster “Reporta camada raster de valor único” que reporta a área em m² por contagem de pixels na extensão ODS. Os dados foram transportados para planilha Excel, onde as áreas foram calculadas em km². Desta forma, foi obtida a área ocupada por cada classe temática, possibilitando a quantificação espacial dos padrões identificados pelos índices entre diferentes níveis de vegetação e presença de água na Baía do Tubarão.

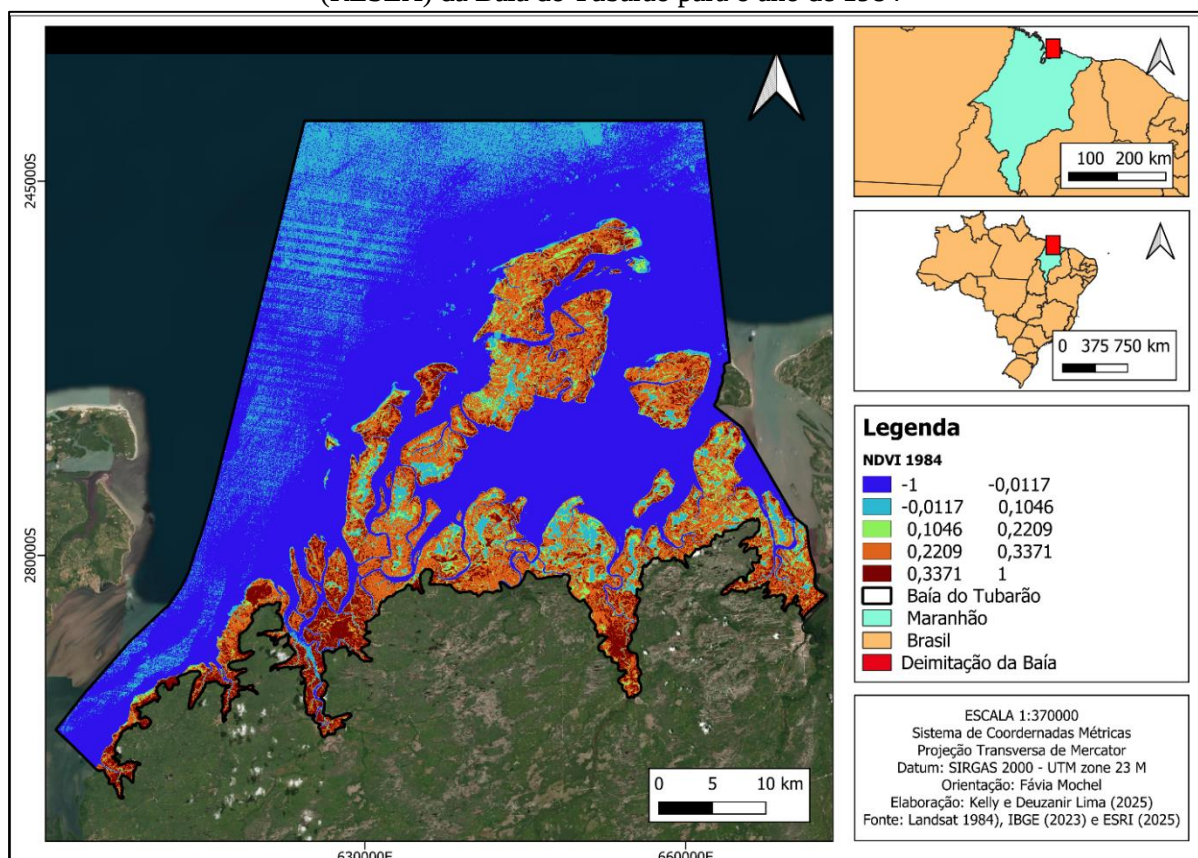
Atividades de Campo e Validação

Campanhas de campo foram realizadas com o objetivo principal de subsidiar a interpretação dos dados de sensoriamento remoto e validar as análises multitemporais. As visitas ocorreram nos anos de 2025 e 2026, sempre com acompanhamento de comunitários locais, nas localidades: povoado Santa Maria de Guaxenduba; Ilha do Gato e povoado Porto da Roça; povoados de Apicum Grande, Curralinho, Chibate e Santa Clara. Durante as atividades de campo, foram realizados registros fotográficos georreferenciados para documentar o estado atual dos ecossistemas e da linha de costa, servindo como referência visual para as análises. Adicionalmente, para auxiliar na identificação de ambientes de erosão e deposição, foram coletadas amostras de sedimentos nos portos das localidades para serem analisadas no Laboratório de Geologia e Sedimentologia da UFMA, utilizando um granulômetro a laser HORIBA - modelo LA-350.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

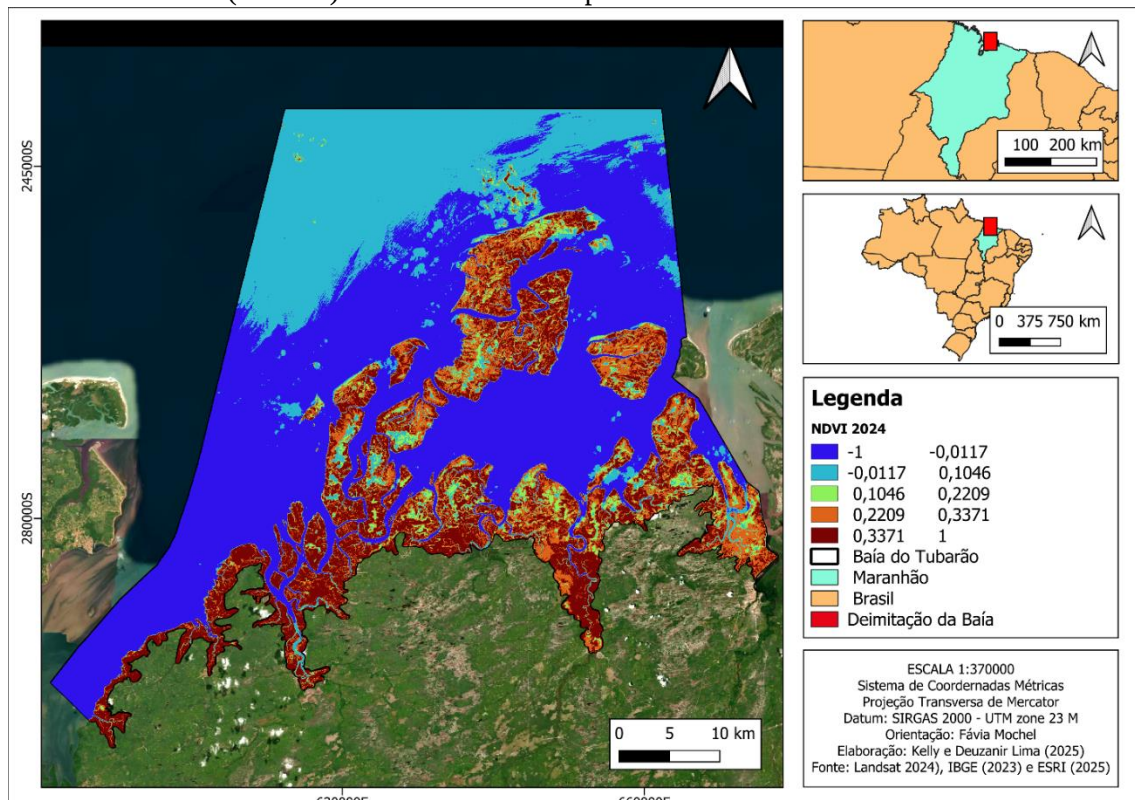
Os padrões do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Valores próximos de -1 estão relacionados a corpos d'água e superfícies não vegetadas, enquanto valores próximos de $+1$ indicam densidade da vegetação, biomassa e vigor fotossintético geralmente associados a dossel mais denso e saudável (Santos & Oliveira, 2015). Estudos regionais têm aplicado esse índice para caracterizar a evolução temporal da vegetação em áreas costeiras do Maranhão, reforçando a pertinência de análises multitemporais neste contexto (Santos *et al*, 2020). Os resultados da aplicação do Índice de Vegetação NDVI para a Reserva Extrativista da Baía do Tubarão encontram-se nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Resultado da aplicação do Índice de Vegetação NDVI na área Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão para o ano de 1984



Fonte: Landsat (1984); IBGE (2023). ESRI (2025). Elaboração: Kely Silva dos Santos e Deuzenir Lima (2025). Organização: Os autores(2026).

Figura 3 - Resultado da aplicação do Índice de Vegetação NDVI na área Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão para o ano de 2024



Fonte: Landsat (2024); IBGE (2023). ESRI (2025). Elabrtação: Kely Silva dos Santos e Deuzenir Lima (2025). Organização: Os autores(2026).

Na Tabela 1 observa-se que as classes 1 (área de marés/oceano) e 2 (canais), revelaram valores negativos de NDVI, representando, predominantemente, áreas sob influência direta das águas das marés, canais estuarinos e superfícies de entremarés expostas, enquanto as classes 4 (vegetação esparsa) e 5 (vegetação densa) revelaram, principalmente, manguezais com maior biomassa e dossel mais denso (Tabela 1). Esse comportamento pode indicar expansão ou adensamento da cobertura de manguezal, compatível com processos de regeneração natural em unidades de conservação de uso sustentável (Xu *et al*, 2026; Medeiros *et al*, 2023; Gaw & Richards, 2021). O aumento dos valores de NDVI entre 1984 e 2024 revelaram mudanças expressivas na distribuição e condição da cobertura vegetal. Em termos de cobertura do solo destaca-se o aumento de 325,44 km² para 511,12 km² na classe 2 (canais), com índice NDVI mudando de negativo em 1984 para positivo em 2024, e o incremento de 167,15 km² para 341,73 km² na classe 5 (vegetação densa) com índice NDVI aumentando de 0,3371 em 1984 para 1,0 em 2024 (Tabela 1). Este incremento de aproximadamente 104% na área de alta reflectância no infravermelho próximo indica uma expansão espacial e/ou um adensamento da vegetação com maior vigor fotossintético ao longo das quatro décadas. Esse

fato pode estar associado tanto à proteção legal da área quanto a condições climáticas, caracterizados por maior disponibilidade hídrica na região Norte e Nordeste do Brasil.

Tabela 1 - Resultado do Índice de Vegetação NDVI para as unidades de paisagem costeira nos anos de 1984 e 2024

Categorias	Classes	Intervalo de NDVI		Área em km ²	
				1984	2024
Maré/oceano	1	-1	-0,0117	1.283,92	1.067,48
Canais	2	-0,0117	0,1046	325,44	511,12
Áreas alagadas/apicuns	3	0,1046	0,2209	100,41	89,58
Vegetação esparsa	4	0,2209	0,3371	360,94	227,94
Vegetação densa	5	0,3371	1	167,15	341,73
Total				2.237,88	2.237,88

Fonte: Os autores (2026).

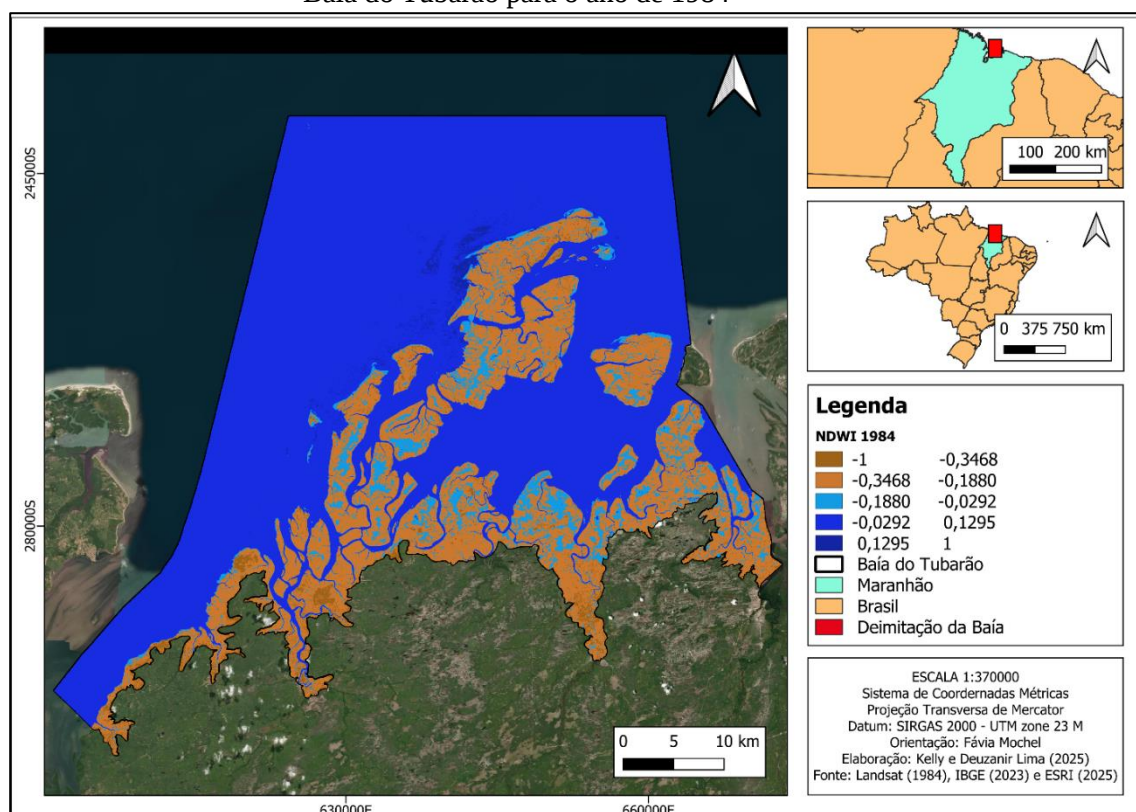
Os resultados corroboram estudos anteriores que identificaram deslocamentos do NDVI para classes superiores em áreas com processos de regeneração ou maturação da cobertura vegetal (Kreri *et al.*, 2026; Huete *et al.*, 2002; Zhu *et al.*, 2016). No contexto específico da RESEX, dominada por manguezais, apicuns e salinas, o incremento nos valores de NDVI pode estar associado a um processo de maturação estrutural do manguezal e adensamento do dossel. Tal tendência pode ser um reflexo indireto do regime de proteção ambiental instituído pela criação da unidade de conservação, que limita atividades de desmatamento e promove a recuperação natural, conforme observado em outras áreas costeiras sob proteção (Campos Peixoto; El Robrini, 2025; Ribeiro *et al.*, 2024).

O Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) utilizado para realce de corpos d'água superficiais foi proposto originalmente por McFeeters (1996) onde valores positivos tendem a indicar presença de água livre, enquanto valores negativos estão associados a superfícies não aquáticas, como solo exposto, vegetação e áreas urbanizadas. O índice NDWI complementa a análise ao ser sensível ao conteúdo de água na vegetação e em corpos d'água superficiais (Gao, 1996). Uma relação inversa foi observada espacialmente: as áreas com os mais altos valores de NDVI (vegetação densa) frequentemente apresentaram valores negativos ou baixos de NDWI. Esta assinatura espectral não indica necessariamente estresse hídrico fisiológico, mas reflete a redução da contribuição espectral da água livre no dossel do manguezal, um ambiente onde a água está mais associada ao solo saturado e à vegetação halófito do que a corpos d'água abertos. Valores negativos de NDWI em manguezais são

comuns e estão ligados à interação complexa entre a salinidade, o regime de marés e as propriedades fisiológicas das espécies (Xu, 2006; Murray *et al.*, 2019).

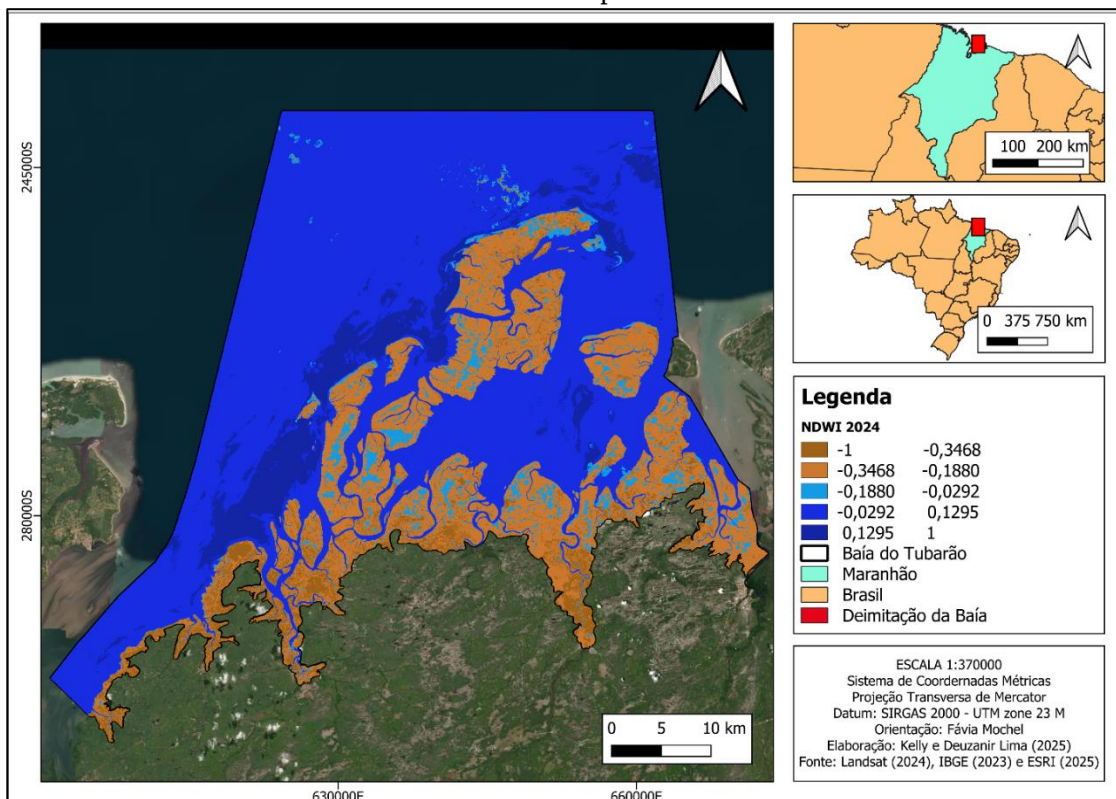
Os resultados da aplicação do Índice de Água NDWI para a Reserva Extrativista da Baía do Tubarão encontram-se nas Figuras 4 e 5. Na RESEX, enquanto ambiente costeiro e estuarino, valores mais elevados de NDWI refletem lâmina d'água ativa, maré alta e canais estuarinos, enquanto valores próximos de zero ou negativos correspondem a superfícies intertidais expostas, apicuns, salinas e áreas vegetadas, que apresentam maior refletância no NIR.

Figura 4 - Resultado da aplicação do Índice de Água NDWI na área Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão para o ano de 1984



Fonte: Landsat (1984); IBGE (2023). ESRI (2025). Elabrtação: Kely Silva dos Santos e Deuzenir Lima (2025). Organização: Os autores(2026).

Figura 5 - Resultado da aplicação do Índice de Água NDWI na área Reserva Extrativista (RESEX) da Baía do Tubarão para o ano de 2024



Fonte: Landsat (2024); IBGE (2023). ESRI (2025). Elabrtação: Kely Silva dos Santos e Deuzenir Lima (2025). Organização: Os autores(2026).

Onde a dinâmica é fortemente controlada pelo regime de marés, observa-se, na Tabela 2, que as classes 4 (canais) e 5 de NDWI (marés e oceano) são as que representam predominantemente a maré/oceano e canais inundados, enquanto a classe 3 (áreas alagadas e apicuns) indica zonas de transição entre água e substrato, altamente sensíveis à oscilação da maré e à variabilidade climática na região. A diminuição da área da classe 3 (áreas alagadas e apicuns) de 139,44 km² para 105,86 km² e de 1.525,88 km² para 1.366,43 km² na classe 4 (canais) entre 1984 e 2024 pode indicar uma alteração na dinâmica de inundação ou no conteúdo de umidade superficial desses ambientes, normalmente saturados de sal e com vegetação esparsa, possivelmente associada a mudanças nos padrões de drenagem, sedimentação ou até à conversão para salinas artesanais. O aumento expressivo da classe 5 (áreas de marés/ oceano) de 13,62 km² para 176,06 km², entre 1984 e 2024 sugerem mudanças na hidrodinâmica local, fortemente condicionadas pelo regime de marés, pela influência de anos mais úmidos associados à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que favorecem maior distribuição de água livre em sistemas estuarinos tropicais, bem como à alterações

climáticas recentes.

Tabela 2 - Resultado do Índice de Água NDWI para as unidades de paisagem costeira nos anos de 1984 e 2024.

Categorias	Classes	Intervalo de NDWI		Área em km ²	
				1984	2024
Vegetação densa	1	-1	-0,3468	38,82	107,60
Vegetação esparsa	2	-0,3468	-0,1880	520,11	481,90
Áreas alagadas/apicuns	3	-0,1880	-0,0292	139,44	105,86
Canais	4	-0,0292	0,1295	1.525,88	1.366,43
Maré/oceano	5	0,1295	1	13,62	176,06
	Total			2.237,88	2.237,87

Fonte: Os autores (2026).

A análise integrada dos índices NDVI e NDWI para o período de 1984 a 2024 revela mudanças espaço-temporais consistentes na eco-hidrologia da Baía do Tubarão. Em 2024, observou-se um aumento nos valores de NDWI nas áreas costeiras e próximo a corpos hídricos internos. Este fato também foi observado em manguezais do Pará, onde índices NDVI mostraram um aumento dessa vegetação indicando estabilidade dessas zonas úmidas, (Silva *et al.*, 2025), pode estar associado a múltiplos fatores como um incremento na umidade do solo e da vegetação relacionado à maior biomassa detectada pelo NDVI, alterações no regime de marés ou um possível aumento relativo do nível do mar que amplia a frequência e a extensão das inundações e mudanças no uso da terra que alteram o escoamento superficial e a retenção de água (Gxokwe *et al.*, 2020). O classificador Random Forest com índices NDVI e NDWI por Ashok *et al.* (2021) demonstrou elevada precisão para analisar a redução de zonas úmidas em análises multitemporais.

Tendências positivas de longo prazo no NDWI podem estar ligadas a mudanças nos padrões de precipitação, gestão de recursos hídricos ou processos de recuperação ecológica (Ashok *et al.*, 2021; Iacobucci *et al.*, 2025; Fagherazzi *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2018). Na Baía do Tubarão, a sinergia entre o aumento do NDVI (mais vegetação) e do NDWI (mais umidade) sugere um cenário de melhoria geral nas condições ecohidrológicas da cobertura vegetal costeira entre 1984 e 2024, corroborado pelos aumentos de precipitação pluviométrica nos últimos anos (Back *et al.*, 2025)

Esta interpretação é apoiada por estudos de longo prazo que utilizam séries temporais desses índices para detectar tendências de recuperação ecológica, as quais são frequentemente

mediadas por mudanças no balanço hídrico e na gestão do território (Murray *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2016). A trajetória positiva observada na RESEX está provavelmente ligada, a variabilidade climática natural (pluviometria e marés), às medidas de conservação implementadas localmente, que restringiram usos mais impactantes e permitiram uma relativa resiliência e recuperação dos ecossistemas manguezais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do NDVI demonstrou uma tendência expressiva de aumento na densidade e vigor da cobertura vegetal ao longo das quatro décadas. O incremento de aproximadamente 104% na área de NDVI Classe 5 (vegetação densa), passando de 167,15 km² para 341,73 km², aliado ao crescimento da Classe 2 (canais), evidencia um claro processo de expansão espacial e/ou adensamento do dossel de manguezal. Este padrão está em consonância com estudos que associam tendências positivas de NDVI a processos de regeneração e desenvolvimento florestal em áreas protegidas. No contexto da RESEX, os resultados sugerem que o regime de proteção ambiental aliado ao aumento do aporte hídrico tem sido um fator catalisador para a resiliência e possível recuperação do ecossistema manguezal, limitando pressões antrópicas de grande escala e permitindo a sucessão natural.

A análise do NDWI desvendou mudanças complexas na hidrodinâmica superficial. A drástica expansão da Classe 5 (áreas de marés/oceano) de 13,62 km² para 176,06 km² e a redução simultânea das classes de canais (4) e áreas alagadas/apicuns (3) apontam para uma reconfiguração dos padrões de inundação e drenagem na baía. Estas alterações podem estar associadas a uma combinação de fatores, incluindo mudanças morfodinâmicas naturais em um sistema estuarino dominado por macromarés, alto aporte sedimentar, possíveis efeitos das mudanças climáticas e modificações antrópicas locais. A relação inversa espacialmente verificada entre NDVI alto e NDWI baixo/negativo corrobora a assinatura espectral típica de manguezais maduros, onde a água está predominantemente no solo saturado, e não como lâmina livre sobre o dossel.

A interpretação integrada dos dois índices sugere uma paisagem costeira que apresenta simultaneamente maior vigor vegetal (aumento do NDVI) e uma redistribuição da água superficial com aumento da influência marinha/estuarina (mudanças no NDWI). Isto indica que a trajetória ambiental da RESEX entre 1984 e 2024 foi positiva em termos de conservação da biomassa vegetal, mas também revela uma sensibilidade marcante às forças

hidrodinâmicas e climáticas, que reconfiguram continuamente a interface terra-água.

Este estudo se limitou ao uso de sensores orbitais de resolução espacial moderada (Landsat), o que é ideal para análises em larga escala, mas pode não capturar mudanças muito localizadas. Além disso, a análise atribuiu tendências a fatores combinados (proteção, clima, hidrodinâmica), cuja separação e quantificação exata demandariam modelagens específicas e séries temporais mais longas de dados *in situ*. Recomenda-se, para pesquisas futuras, que sejam utilizadas séries temporais mais densas (análise de *landtrendr*), a integração com dados LiDAR ou SAR, além de estudos socioecológicos detalhados para entender como as comunidades locais percebem e se adaptam às mudanças na hidrodinâmica costeira identificadas.

Os resultados reforçam a importância da RESEX como instrumento de conservação dos ecossistemas costeiros, os quais garantem os meios de vida das comunidades tradicionais. A tendência de adensamento do manguezal é um ativo ecológico e um indicador de efetividade da proteção. No entanto, as rápidas mudanças na hidrodinâmica superficial destacam a necessidade de um monitoramento contínuo e adaptativo. Recomenda-se que o Plano de Manejo da Unidade de Conservação incorpore esses achados para o fortalecimento da gestão participativa, para monitorar impactos locais das mudanças hidrodinâmicas e para implementar programas de monitoramento hidro-sedimentológico e do nível relativo do mar para melhor compreender os drivers das mudanças observadas.

Conclui-se que a RESEX da Baía do Tubarão, durante as quatro décadas de dinâmica analisada, apresenta um cenário de relativa saúde ecossistêmica do manguezal convivendo com uma notável dinâmica hidromorfológica. Este trabalho evidencia o valor das geotecnologias e das análises multitemporais de longo prazo para a governança adaptativa de unidades de conservação costeiras na Amazônia, fornecendo uma linha de base científica robusta para decisões de manejo que conciliem a conservação da biodiversidade com a sustentabilidade dos modos de vida tradicionais.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão, ao Laboratório de Manguezais- LAMA, Ao Centro de Recuperação de Manguezais- CERMANGUE, ao ICMBio- MA, aos comunitários da RESEX da Baía do Tubarão, pelo apoio recebido em campo e em laboratório.

REFERÊNCIAS

ASHOK, Amgoth; RANI, Hari Ponnammam; JAYAKUMAR, K. V. Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100547, 2021.

BACK, Álvaro José; SOUZA, Gabriel da Silva; GALATTO, Sérgio Luciano. Comportamento sazonal das precipitações pluviométricas máximas anuais no Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, n. 21, p. 291–312, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.17857.

BARBIER, E. B. Marine ecosystem services. **Current Biology**, v. 27, n. 11, p. R507-R510, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982217303086>. Acesso em: 2 jan. 2026.

BRASIL. **Decreto nº 9.340, de 5 de abril de 2018**. Cria a Reserva Extrativista Marinha Baía do Tubarão, nos Municípios de Humberto de Campos e Icatu, Estado do Maranhão. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 abr. 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9340.htm. Acesso em: 19 dez. 2025.

BRASIL. **Portaria nº 121, de 13 de fevereiro de 2020**. Diário Oficial da União, Seção 1, n. 32, Brasília, DF, 14 fev. 2020. Disponível em: https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/4282_20200228_160937.pdf. Acesso em: 5 dez. 2025.

CAVALLI, Rosa Maria. Remote data for mapping and monitoring coastal phenomena and parameters: A systematic review. **Remote Sensing**, v. 16, n. 3, p. 446, 2024.

CAMPOS PEIXOTO, Herbert Junior; MAAMAR, El Robrini. Dinâmica espaço-temporal (1986-2020) de manguezais de Rsexes na costa atlântica paraense (Amazônia Oriental, Brasil). **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 35, n. 83, p. 1412, 2026. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2025v35n83p1412. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/36575>. Acesso em: 6 jan. 2026.

FAGHERAZZI, Sergio *et al.* Variations in persistence and regenerative zones in coastal forests triggered by sea level rise and storms. **Remote Sensing**, v. 11, n. 17, p. 2019, 2019

GAO, B. C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1996.

GAW, Leon Yan-Feng; RICHARDS, Daniel Rex. Development of spontaneous vegetation on reclaimed land in Singapore measured by NDVI. **Plos one**, v. 16, n. 1, p. e0245220, 2021.

GXOKWE, Siyamthanda; DUBE, Timothy; MAZVIMAVI, Dominic. Multispectral remote sensing of wetlands in semi-arid and arid areas: A review on applications, challenges and

possible future research directions. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4190, 2020.

HUETE, Alfredo Ramon. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195–213, 2002.

IACOBUCCI, Gaia; PIACENTINI, Daniela; TROIANI, Francesco. Tracking coastal changes in the central-eastern margin of Tyrrhenian Sea through integrated NDWI-derived shorelines from multi-sensor satellite time series. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam, v. 37, p. 101636, jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sistema IBGE/SIDRA. **Panorama da população de Icatu e Humberto de Campos**, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/humberto-de-campos/panorama>. Acesso em: 05 dez.. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE. Sistema IBGE/SIDRA. **Censo demográfico 2022 – população de Icatu e Humberto de Campos**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/icatu/panorama>. Acesso em: 5 dez. 2025.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL - ISA. **Reserva Extrativista da Baía do Tubarão**, 2023. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/5455>. Acesso em 05 dez. 2025.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species** 2024 (1). Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 06 dez. 2025.

KJERFVE, Björn *et al.* 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.

KRERI, Sarah *et al.* Remote sensing assessment of vegetation and moisture dynamics in semi-arid regions. **Sci Rep**, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37781-8>.

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; CHOU, Sin Chan. Estado da arte do conhecimento da variabilidade e mudanças climáticas no Brasil. *In*: MORAES, Osvaldo Luiz Leal de; LATGÉ, Andrea; VIEIRA, Ima Célia Guimarães; ELIAS, Luiz Antonio (org.). **Mudanças climáticas no Brasil: estado da arte e fronteiras do conhecimento**. Brasília, DF: Editora Ibict, 2025. p. 23-58. DOI: <https://doi.org/10.22477/9788570132468.cap1>.

MEDEIROS, Ivanize da Silva . *et al.* Effectiveness of Federal Protected Areas in the Preservation of Mangrove Forests on the Coast of the State of Paraíba, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 1, e20211079, p. 1-14, jan. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/Z6KknGPV4y9rxgBjftTTvdrp/?lang=en>. Acesso em: 7 fev. 2026.

MCFEETERS, Stuart K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.

17, n. 7, p. 1425–1432, maio 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/atlas-dos-manguezais-do-brasil-pdf/view>. Acesso em: 4 dez. 2025.

MISHRA, Deepak R. *et al.* Wetland mapping methods and techniques using multi-sensor, multi-resolution remote sensing: Successes and challenges. In: **Remote Sensing Handbook**, CRC Press, 2024. p. 214-266. v. 5. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003541400-12/wetland-mapping-methods-techniques-using-multi-sensor-multi-resolution-remote-sensing-deepak-mishra-yan-shuvan-ghosh-christine-hladik-jessica-connell-hyun-jung-cho>. Acesso em: 4 dez. 2025.

MONTELES, Josinete Sampaio; FUNO, Izabel Cristina de Almeida; CASTRO, Antonio Carlos Leal de. Caracterização da pesca artesanal nos municípios de Humberto de Campos e Primeira Cruz - Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 23, n. 1, 10 Jan 2014. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/blasobhidro/article/view/1879>. Acesso em: 4 dez. 2025.

MURRAY, Nicholas J. *et al.* The global distribution and trajectory of tidal flats. **Nature**, Londres, v. 565, p. 222-225, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0805-8>. Acesso em: 5 fev. 2026.

PIRES, Tania MARA Souza, SANTOS, Mariana Ferreira, PIREZ, Paulo Gualberto Sousa, NEVES, Frederico, RONEZ, Marcia In: SILVA, M. M. N. Da ; BRITO, H. C. (org.). **Ambiente, sociedade e recursos naturais: desafios e soluções para o desenvolvimento sustentável**. Campina Grande/PB: Amplla, 2025.

RIBEIRO, Suellen Pinheiro *et al.* Geodiversidad y servicios ecosistémicos de los manglares en el complejo portuario de São Luís, Maranhão, Brasil/Geodiversidade e serviços ecossistêmicos de manguezais no complexo portuário de São Luís, Maranhão, Brasil. **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, v. 5, n. 3, p. 1-14, 2024.

SANTOS, Heitor Albuquerque dos; SILVA, Jadson Freire da; GOMES, Viviane Pedroso; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. Análise espaço-temporal (2000–2014) da vegetação na microrregião Baixada Maranhense (Maranhão). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, p. 02–10, 2020. Disponível em: <https://www.rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/1>. Acesso em: 5 fev. 2026.

SANTOS, Jorlânio da Silva; OLIVEIRA, Ivanilza Pontes de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para avaliação da cobertura vegetal do entorno do açude Caldeirão, em Piripiri (PI), Brasil. **Revista Equador**, UFPI, Teresina, v. 4, n. 2, p. 87-101, 2015.

SANTOS, Heitor Albuquerque dos *et al.* Análise espaço temporal (2000–2014) da vegetação na microrregião Baixada Maranhense (Maranhão). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, 2020. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/1>.

Acesso em: 6 jan.. 2026

SILVA, Kayo Diuary Rodrigues *et al.* Monitoramento da integridade ecológica de manguezais amazônicos: estudo de caso no município de Maracanã. **Revista Foco**, v. 18, n. 12, p. e11162-e11162, 2025.

SONG, Xiao-Peng *et al.* Global land change from 1982 to 2016. **Nature Climate Change**, Londres, v. 8, p. 817–822, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0231-9>. Acesso em: 5 fev. 2026.

TIENGO, Rafaela *et al.* Remote sensing approaches for land use/land cover change in coastal areas and oceanic islands: an open science-based systematic review. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 23, n. 2, p. 153-175, 2023.

XU, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.

XU, Wenyang *et al.* Long-term mangrove dynamics and safety in coastal areas: An emergency Remote Sensing-based analysis using Landsat and Sentinel-2 Data. **Marine Pollution Bulletin**, v. 222, p. 118789, 2026. Disponível em: Science Direct. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X25012652>. Acesso em: 03 fev. 2026.

ZHU, Zaichun *et al.* Greening of the Earth and its drivers. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 791–795, 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate3004>. Acesso em: 08 dez. 2025.