

CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DOS MANGUEZAIS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA, 2019-2024

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING TO THE STUDY OF MANGROVES: A BIBLIOMETRIC REVIEW, 2019-2024

APORTE DE LA TELEDETECCIÓN AL ESTUDIO DE LOS MANGLARES: UNA REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA, 2019-2024

Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
marcosleo_fs@hotmail.com

Janaína Barbosa da Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
janainasiov@yahoo.com.br

RESUMO

O estudo destaca a importância dos manguezais como ecossistemas costeiros vitais, ressaltando sua distribuição global e relevância na mitigação das mudanças climáticas, proteção costeira e prestação de serviços socioeconômicos. No entanto, eles enfrentam ameaças significativas devido à atividade humana, como desmatamento e urbanização descontrolada. O Sensoriamento Remoto, especialmente por meio de índices de vegetação, é uma ferramenta essencial para monitorar e conservar os manguezais, fornecendo dados valiosos para análise e tomada de decisão. A pesquisa objetiva revisar a literatura existente sobre o uso do Sensoriamento Remoto na análise de manguezais, destacando a importância desses índices na identificação de espécies de mangue. A metodologia de análise bibliométrica identificou apenas 32 estudos brasileiros sobre o tema, no período analisado, apesar da extensão significativa dos manguezais ao longo do litoral do país. Os índices de vegetação possuem um papel fundamental na identificação e caracterização dos manguezais, contribuindo para o monitoramento da saúde e extensão desses ecossistemas. A diversidade de índices reflete o contínuo avanço e inovação na área de Sensoriamento Remoto, destacando a importância de uma abordagem multifacetada para compreender e monitorar ecossistemas terrestres em escala global.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto; índice de vegetação; manguezal.

ABSTRACT

The study highlights the importance of mangroves as vital coastal ecosystems, highlighting their global distribution and relevance in climate change mitigation, coastal protection and provision of socioeconomic services. However, they face significant threats due to human activity, such as deforestation and uncontrolled urbanization. Remote Sensing, especially through vegetation indices, is an essential tool for monitoring and conserving mangroves, providing valuable data for analysis and decision-making. This research aims to review the existing literature on the use of Remote Sensing in mangrove analysis, highlighting the importance of these indices in identifying mangrove species. The methodology of bibliometric analysis identified only 32 Brazilian studies on the subject, in the analyzed period, despite the significant extension of mangroves along the country's coastline. Vegetation indices play a fundamental role in the identification and characterization of mangroves, contributing to the monitoring of the health and extension of these ecosystems. The diversity of indices reflects the continuous advancement and innovation in the field of Remote Sensing, highlighting the importance of a multifaceted approach to understanding and monitoring terrestrial ecosystems on a global scale.

KEYWORDS: remote sensing; vegetation index; mangrove.

RESUMEN

El estudio destaca la importancia de los manglares como ecosistemas costeros vitales, destacando su distribución global y relevancia en la mitigación del cambio climático, la protección costera y la provisión de servicios

socioeconômicos. Sin embargo, enfrentan amenazas importantes derivadas de la actividad humana, como la deforestación y la urbanización descontrolada. La teledetección, especialmente a través de índices de vegetación, es una herramienta esencial para el monitoreo y conservación de los manglares, proporcionando datos valiosos para el análisis y la toma de decisiones. La investigación tiene como objetivo revisar la literatura existente sobre el uso de Teledetección en el análisis de manglares, destacando la importancia de estos índices en la identificación de especies de manglares. La metodología del análisis bibliométrico identificó sólo 32 estudios brasileños sobre el tema, en el período analizado, a pesar de la significativa extensión de los manglares a lo largo del litoral del país. Los índices de vegetación juegan un papel fundamental en la identificación y caracterización de los manglares, contribuyendo al monitoreo de la salud y extensión de estos ecosistemas. La diversidad de índices refleja el continuo avance y la innovación en el campo de la teledetección, destacando la importancia de un enfoque multifacético para comprender y monitorear los ecosistemas terrestres a escala global.

PALABRAS CLAVE: teledetección; índice de vegetación; manglar.

1. INTRODUÇÃO

É inegável e crucial o papel ecológico que os manguezais possuem, pois estabilizam a costa e protegem contra ondas e ventos. Além disso, atuam como sumidouros de carbono, visto que capturam grandes quantidades anuais do elemento, o que contribui significativamente para a mitigação das mudanças climáticas (Alongi, 2020; Kida; Fujitake, 2020). Apesar de cobrirem apenas 0,1% da superfície continental da Terra, os manguezais representam 11% da entrada total de carbono terrestre no oceano. Esses ecossistemas ricos em carbono oferecem uma série de serviços e benefícios socioeconômicos, incluindo proteção costeira, produção de alimentos e turismo (Giri *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2023; Goldberg *et al.*, 2020).

No entanto, mesmo sendo sistemas socioecológicos complexos, que fornecem serviços ecossistêmicos vitais na interface dinâmica entre a terra e os oceanos, os manguezais passam por diversas ameaças que afetam as suas funções de prestação desses serviços essenciais, especialmente na prevenção de inundações e na capacidade de sequestrar carbono e conter as alterações climáticas (Worthington; Spalding, 2018; Semeniuk; Cresswell, 2018).

Nesse sentido, a maior parte da degradação dos manguezais no mundo está ligada a ações antrópicas e, tal como acontece com as florestas tropicais, a derrubada insustentável de árvores é um dos principais fatores para o declínio da cobertura desse ecossistema (Akanni *et al.*, 2018). Os principais vetores de pressão da perda de cobertura vegetal são a substituição pela aquicultura, a agricultura e a expansão descontrolada de áreas urbanas (Thomas *et al.*, 2018).

Observando a problemática que engloba os manguezais, as já consolidadas ferramentas de geoprocessamento – grandes contribuintes nas ações de preservação e conservação dos mais variados ecossistemas –, especialmente o Sensoriamento Remoto, têm inúmeras vantagens no monitoramento desses ecossistemas, como a disponibilização de ampla cobertura territorial, a

redução/gratuidade de custo de informações e os registros históricos (Giardino *et al.*, 2019; Xia *et al.*, 2020).

Dessa forma, o propósito deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação do Sensoriamento Remoto no monitoramento e na conservação de manguezais, com ênfase no uso de índices de vegetação (IV) como ferramenta para análise da cobertura vegetal e identificação de espécies, considerando abordagens globais e brasileiras.

A pesquisa apresentou um número satisfatório de produções acadêmicas acerca do assunto, o que era previsto, já que Pham *et al.* (2019) e Herrera-Silveira *et al.* (2020) destacam as numerosas contribuições disponíveis na literatura. Assim, optou-se por analisar de forma separada as contribuições do Sensoriamento Remoto no estudo das florestas de mangue em uma visão global. Posteriormente, analisou-se os resultados mais significativos relacionados aos manguezais brasileiros e, por fim, uma pesquisa mais específica, apresentando os IVs como ferramenta essencial na identificação de espécies de mangue.

2. METODOLOGIA

Várias metodologias de revisão de literatura estão disponíveis, incluindo revisão estruturada, revisão de modelo/estrutura, meta-análise, exame teórico, pesquisa híbrido-futuro, estrutura, revisão bibliométrica e revisões sistemáticas (Al Mamun *et al.*, 2021). Este estudo aplica metodologia bibliométrica para analisar a literatura sobre a relação entre Sensoriamento Remoto, índice de vegetação e manguezais. A escolha pela metodologia de análise bibliométrica se justifica por ser um procedimento científico amplamente reconhecido e aplicado globalmente, pois emprega abordagens matemáticas e estatísticas para avaliação (Cabeza *et al.*, 2020). Com base no mapeamento de produções bibliográficas, essa abordagem tem a capacidade de resumir de forma quantitativa um campo de investigação e disponibilizar detalhes acerca das correntes predominantes de pesquisa (Zupic; Čater, 2015).

Para a revisão da literatura, este estudo baseou-se unicamente em artigos publicados em revistas acadêmicas, excluindo teses, dissertações, artigos apresentados em conferências e em outros meios de disseminação. Foram utilizadas duas plataformas, *Web of Science* e *Scopus*, que fornecem bancos de dados amplamente aceitos e adequados para análise bibliométrica de publicações científicas, devido aos seus rigorosos processos de avaliação, abrangência e informações influentes e confiáveis.

Além disso, o levantamento bibliométrico foi realizado no dia 05 de junho de 2024, com

recorte temporal entre 1º de janeiro de 2019 e 31 de maio de 2024, abrangendo artigos publicados nos idiomas inglês, português e espanhol. As buscas feitas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* utilizaram a palavra-chave “*mangrove*”, associada aos termos “*remote sensing*”, “*vegetation index*” e “*zonation*”. Inicialmente, foram recuperadas 1.802 publicações. Após a remoção de duplicatas, 1.122 artigos permaneceram.

Após a triagem inicial por títulos e resumos, que resultou em 372 artigos, procedeu-se à leitura integral para aplicação de critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Foram incluídos os trabalhos que apresentavam análise direta de manguezais por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto, com foco na utilização de índices de vegetação e/ou na caracterização do zonamento. Excluíram-se aqueles cujo objeto central não envolvia o ecossistema manguezal, além de estudos que apenas mencionavam o termo de forma tangencial, de investigações voltadas a outros ambientes costeiros ou às aplicações de Sensoriamento Remoto desvinculadas da temática proposta. Também foram desconsideradas duplicações e versões preliminares de artigos já publicados em periódicos. A partir desses critérios, 158 artigos foram considerados pertinentes para a análise aprofundada, dos quais 32 abordavam especificamente os manguezais brasileiros.

Dessa forma, o estudo baseia-se em uma análise criteriosa de 158 publicações científicas, que representam o corpo central da literatura avaliada nesta pesquisa, consolidando as principais contribuições recentes sobre o uso do Sensoriamento Remoto e de índices de vegetação aplicados à conservação dos manguezais em escala global e nacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Visão global do Sensoriamento Remoto em manguezais

As vantagens do Sensoriamento Remoto foram relatadas como um recurso de banco de dados praticado por um grande número de estudos no mapeamento de manguezais, que possui um conjunto de técnicas avançadas, de baixo custo e ou gratuita, além de disponibilizar dados históricos de satélites que variam em escala de análise e condições. Além disso, é descrito como um recurso que tem capacidade de produzir imagens de altas resoluções espaciais, espectrais e temporais para medições quantitativas e qualitativas (Pham *et al.*, 2019; Islam *et al.*, 2019).

Os mapas globais de distribuição dos manguezais surgiram inicialmente na década de 1980 e têm sido consistentemente atualizados desde então, conforme a Tabela 1. Inicialmente, o mapeamento global desses ecossistemas fundamentou-se na compilação de dados a nível de países e provenientes de levantamentos de campo e imagens aéreas (Pham *et al.*, 2019).

Desde 2010, houve um avanço significativo na automação do mapeamento de manguezais em larga escala, atendendo à necessidade de atualização constante. Antes disso, os produtos de mapeamento eram compilados a partir de mapas locais ou nacionais, carecendo de consistência e comparabilidade entre diferentes regiões. Para resolver essa questão, Giri *et al.* (2011) desenvolveram o primeiro mapa global de manguezais, o *Mangrove Forests of the World* (MFW), que foi criado utilizando técnicas avançadas de classificação de imagens. Esse mapa se tornou uma referência amplamente reconhecida em estudos florestais a níveis nacional e global (Hamilton; Casey, 2016; Thomas *et al.*, 2018).

Tabela 1: Histórico de mapeamentos globais de manguezal.

Nº	Autor	Ano	Nº de países	Área (km²)
1	Lanly 1982	1980	51	156 427
2	Saenger <i>et al.</i> 1983	1983	65	162 210
3	FAO (1994)	1985	56	165 000
4	Groombridge 1992	1992	87	198 479
5	ITTO e ISMF 1993	1993	54	124 291
6	Fischer e Snalding 1993	1993	91	198 818
7	Snalding <i>et al.</i> 1997	1997	112	181 001
8	Diznuru e Blasco 2000	2000	112	170 756
9	FAO 2007	2005	124	152 310
10	FAO 2010	2010	112	156 000
11	Giri <i>et al.</i> 2011	2000	118	137 760
12	Hamilton e Casey 2016	2000–2014	105	Máx · 173 067· Mín · 163 925
13	Runting <i>et al.</i> 2018	2010	Global	137 600
14	Runting <i>et al.</i> 2022	1996–2020	Global	Máx · 152 604· Mín · 147 359
15	lia <i>et al.</i> 2023	2020	Global	145 068

Fonte: Adaptado de Tran *et al.*, 2024.

Apesar de se argumentar que as informações espaciais e espectrais fornecidas por sensores de média resolução não possuem um detalhamento adequado para estudar florestas de mangues e a sua composição de espécies, as séries Landsat, Sentinel e Cbers, apresentam avanços à medida que novos satélites são lançados. A série Landsat tem sido mais usada em estudos que analisam a cobertura espaço-temporal dos manguezais, como o realizado por Mondal *et al.* (2017), que estimou extensões de manguezais na complexa paisagem costeira de Serra Leoa, no período de 1990 a 2016, utilizando dados derivados do satélite Landsat para mapear e quantificar essas variações, o que revelou uma redução de 25% de área de mangue.

Ainda sobre a cobertura espaço-temporal dos manguezais, Parida e Kumar (2020) utilizaram dados de satélite Landsat-5 e Sentinel-2 durante o período de 2009 a 2019 no mapeamento e na análise dinâmica das florestas de mangue ao longo da costa de Odisha, na Índia. Os resultados indicaram um aumento na extensão espacial dos manguezais na área de estudo, que estavam principalmente associados à plantação, sensibilização, restauração e gestão.

Outro desafio que os manguezais impõem ao Sensoriamento Remoto é a diferenciação entre as florestas de mangue e outros tipos de cobertura vegetal. Assim, imagens de elevada definição têm o potencial de proporcionar uma resolução espacial mais precisa, também de oferecer informações mais detalhadas acerca das texturas das estruturas, o que pode aprimorar a capacidade de diferenciar esses ecossistemas de outras formações vegetais que apresentam assinaturas espectrais semelhantes (Erfanifard *et al.*, 2022; Xia *et al.*, 2018; Monsef; Smith, 2017).

Antes do lançamento dos sensores de satélite de alta resolução, era praticamente impossível distinguir com exatidão as variedades de manguezais utilizando dados tradicionais de satélite de resolução intermediária (Wang *et al.*, 2018). Com o avanço de sensores comerciais (que oferecem alta resolução espacial, capacidade hiper espectral e sensores remotos ativos), diversos estudos têm empregado imagens aéreas ou de satélite, individualmente ou em combinação, com o propósito de mapear as diferentes espécies de mangues (Cao *et al.*, 2018; Pham *et al.*, 2019). Porém, até o momento, o mapeamento de espécies de mangue por meio de imagens de acesso gratuito continua sendo um desafio, visto que elas costumam apresentar assinaturas espectrais e texturas espaciais muito similares (Pastor-Guzman *et al.*, 2018).

Os dados ópticos multiespectrais (ex.: Landsat, Sentinel-2, MODIS) predominam em 75,9% dos estudos de Sensoriamento Remoto de manguezais, devido à disponibilidade histórica, ao acesso gratuito e às séries temporais contínuas, ideais para análises de longo prazo. O sensoriamento SAR (1,9%) é usado em áreas tropicais com nuvens, destacando-se na caracterização estrutural da vegetação. Tecnologias hiperespectrais (3,8%) e drones/UAVs (1,3%) focam em estudos detalhados de menor escala. A integração multissensor, por sua vez, que combina múltiplas fontes para abordagens mais robustas, está presente em 27 dos 158 artigos (17,1%), conforme observado na Tabela 2.

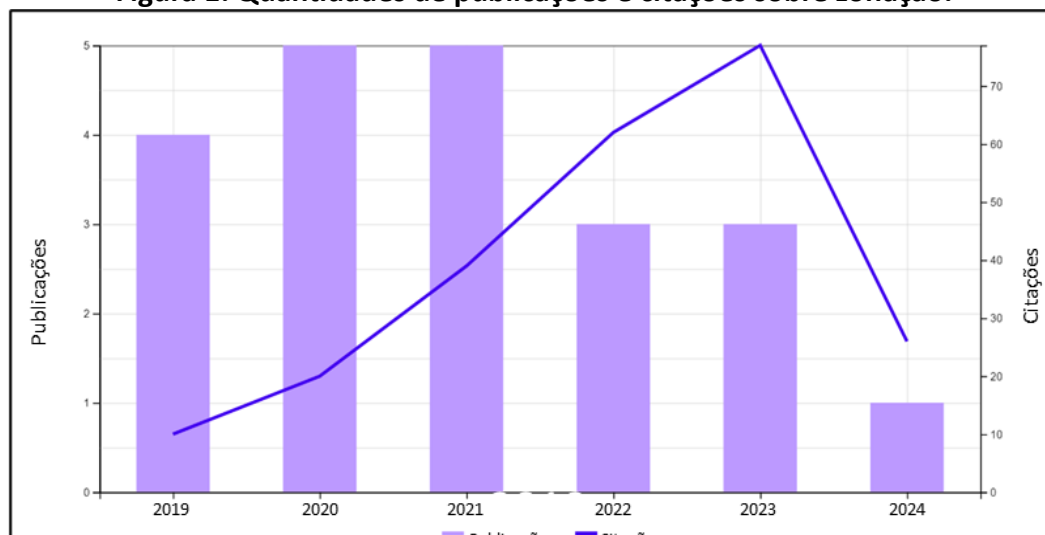
Tabela 2: Frequência de Fontes de Sensoriamento Remoto em Pesquisas de Manguezais.

Fontes de Dados de Sensoriamento Remoto	Nº de artigos	Percentual (%)
Óptico Multiespectral (Landsat, Sentinel-2, MODIS, etc.)	120	75,9%
SAR - <i>Synthetic Aperture Radar</i> (Sentinel-1, ALOS-PALSAR, RADARSAT, etc.)	3	1,9%
Hiperspectral (AVIRIS, Hyperion, etc.)	6	3,8%
Drone / UAV (sensores embarcados, câmeras RGB e multiespectrais)	2	1,3%
Integração Multissensor (combinação óptico + radar ou múltiplas fontes)	27	17,1%
Total	158	100%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Embora diversos autores tenham registrado estudos da distribuição das espécies de manguezais a nível global, dados científicos referentes à composição da vegetação e a zonação em áreas específicas de manguezais são ausentes (Sreelekshmi *et al.*, 2018). Na África Ocidental, por exemplo, os bancos de dados sobre manguezais cobrem apenas a área espacial de superfície (Lombard, *et al.*, 2023). Essas afirmações podem ser corroboradas no quantitativo de estudos registrados sobre o tema, na plataforma *Web of Science*, conforme observado na Figura 1.

Figura 1: Quantidades de publicações e citações sobre zonação.

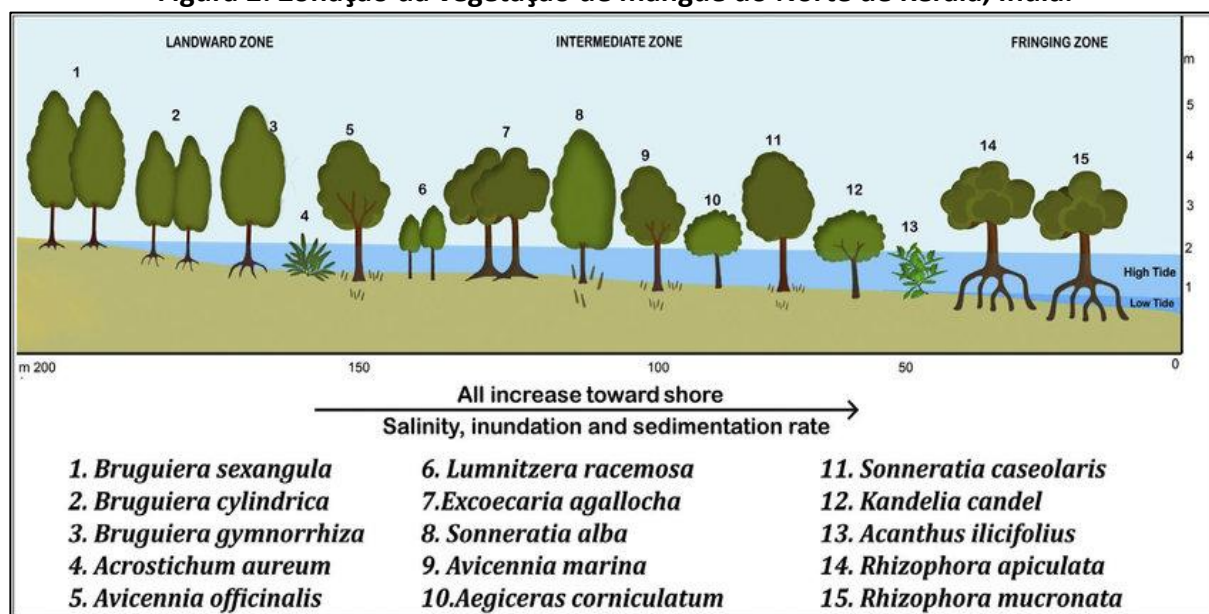


Fonte: Plataforma *Web of Science*, 2024.

O mapeamento da zonação dos manguezais é necessário para orientar estratégias de conservação e, mesmo sendo desafiador, é um aspecto crucial na gestão desse ecossistema, visto que as formações vegetais dispostas ao longo de gradientes ambientais possibilitam uma abordagem mais próxima dos resultados dos procedimentos de dinâmica populacional, que ocorrem em uma escala mais detalhada. Um padrão de zonação, como visto na Figura 2, é

estabelecido com a presença de agrupamentos discretos de espécies de mangue, sendo determinado por fatores geográficos e ambientais (Sreelekshmi *et al.*, 2018; Jia *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019).

Figura 2: Zonação da vegetação de mangue do Norte de Kerala, Índia.



Fonte: Sreelekshmi *et al.*, 2018.

Nesse contexto, a análise de séries temporais de imagens Landsat é de grande valia na zonização de espécies em uma floresta de mangue, pois torna possível examinar a evolução de uma floresta restaurada em todos os estágios de maturidade. Bullock *et al.* (2017) investigaram o uso de séries temporais de imagens Landsat para capturar variações sazonais e a longo prazo para rastrear mudanças na zonização de espécies de uma floresta de mangue restaurada no Delta do Mekong, Vietnã, e, assim, compreender a dinâmica do manguezal e como ela pode ser influenciada por fatores como mudanças climáticas, influência humana e impactos ambientais.

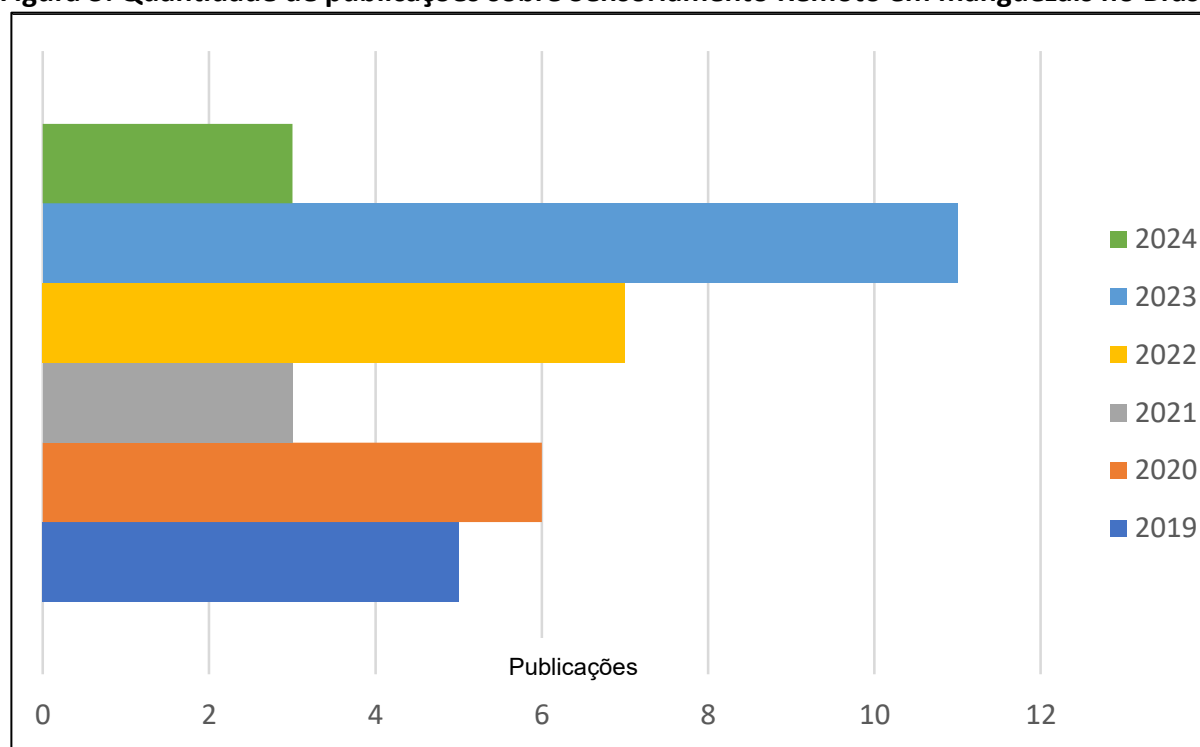
Por sua vez, Silva (2012) analisou a resposta espectral de três espécies de mangue (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*) no estuário de Itapessoca, Pernambuco - Brasil, utilizando espectrorradiometria. Foram aplicados índices para estimar clorofilas e atividades fotossintéticas, revelando alta correlação entre SAVI (espectrorradiometria) e SAVI (Landsat). Um novo índice, HSAVI, foi desenvolvido, mostrando-se promissor para a zonização das espécies estudadas e oferecendo estimativas mais precisas da altura e densidade do bosque comparado ao SAVI tradicional.

3.2 Aplicações do Sensoriamento Remoto nos manguezais brasileiros

Na análise bibliométrica realizada para a construção dessa pesquisa, descrita na seção de metodologia, foi usado um intervalo temporal que contemplasse os trabalhos produzidos entre 2019-2024 e, dentre os 158 selecionados ao final das filtrações, 32 são publicações brasileiras, destacando-se o ano de 2023, com 11 trabalhos publicados, conforme a Figura 3.

Quando ampliado o intervalo temporal de pesquisa para a data inicial disponibilizada pelas plataformas *Scopus* (1960) e *Web of Science* (1945), com a data final 2024, obtemos um quantitativo de 100 e 88 trabalhos respectivamente, com o primeiro publicado em 2000.

Figura 3: Quantidade de publicações sobre Sensoriamento Remoto em manguezais no Brasil.



Fonte: Plataformas *Scopus* e *Web of Science*, 2024.

Mesmo o Brasil sendo o segundo país do mundo com a maior extensão de manguezais e, segundo Correia *et al.* (2023), possuir um Código Florestal (Brasil, 2012) que prevê a proteção integral da vegetação desse ecossistema, o número de trabalhos identificados no período analisado ainda pode ser considerado reduzido. Mesmo com o avanço do uso do Sensoriamento Remoto e de suas diversas aplicações no meio acadêmico, o país ocupa apenas a sétima posição em produção científica sobre o tema, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Publicações sobre manguezais e sensoriamento remoto.

Países	Quantidade de Trabalhos (%)
China	28,36
Estados Unidos	21,63
Índia	14,37
Australia	8,54
Indonésia	6,86
Vietnã	5,83
Brasil	5,70
Inglaterra	5,31
Japão	5,31

Fonte: Plataformas *Scopus* e *Web of Science*, 2024.

Embora os manguezais brasileiros estejam distribuídos ao longo de praticamente todo o litoral, e o país concentre as maiores áreas de florestas de mangue do continente americano, os estudos que associam esse ecossistema ao Sensoriamento Remoto não foram desenvolvidos em todos os estados no período analisado.

A costa norte, de acordo com ICMBio (2018), possui cerca de 85% dos manguezais no Brasil, incluindo o maior trecho único de mangue de cerca de 700.000 hectares (ha). Sobre os manguezais dessa Região foram encontrados 8 estudos e, dentre esses, Hayashi *et al.* (2019) aborda a influência de fatores humanos nas mudanças dos padrões de uso da superfície em manguezais na costa amazônica, indicando que a região apresenta baixa densidade populacional e baixas taxas de impacto antrópico na maioria das microrregiões costeiras investigadas. Tais fatores contribuem para a manutenção e conservação do manguezal da região.

Na Região Sudeste, especificamente no estado de São Paulo, foram registrados cinco estudos nos quais as imagens de satélites são o pilar principal das metodologias utilizadas. Em Moschetto *et al.* (2021) foi constatado, por meio de uma combinação de técnicas de Sensoriamento Remoto, análise geoespacial e métodos qualitativos de pesquisa, que a expansão urbana e seus impactos tem afetado a extensão e a saúde dos manguezais, assim como a vulnerabilidade das comunidades locais a eventos ambientais extremos na região costeira sudeste de São Paulo.

A costa leste da Região Nordeste do Brasil é recoberta por vários fragmentos de manguezal, especialmente o estado de Pernambuco, que apresenta cobertura significativa de manguezais, pois sua posição geográfica e baixa altitude são propícias ao crescimento dessa vegetação. Ao longo dos 187 km de costa, existem 15 estuários com manguezais (Silva *et al.*, 2015) e, em três desses – canal

de Santa Cruz, Sirinhaém e Suape – Pelage *et al.* (2019) usam a técnica de grade, procedimento apropriado para representar espacialmente processos de paisagem, para fornecer informações de mapeamento e quantificação sobre a evolução da cobertura dos manguezais. Por meio de análise temporal de imagens Landsat, foi possível identificar áreas de perda, regeneração e conservação desses ecossistemas.

De forma geral, no Brasil, os manguezais apresentam variações no seu quantitativo de áreas ao decorrer dos anos. A título de exemplificação, na Tabela 4 percebe-se que algumas localidades apresentam aumentos nas áreas de mangue ao passo em que outros locais apresentam perda de vegetação. Nessa direção, Diniz *et al.* (2019), afirma ter havido um acréscimo de 20.000 ha nos manguezais brasileiros entre 1985 e 2018, saltando de 970.000 ha para 990.000 ha. Alguns fatores contribuem nesses números positivos de preservação, a exemplo de uma legislação ambiental mais protetiva.

Percebe-se, ainda, que a salinização pode estar associada a esse fenômeno, já que pode estimular o crescimento dos manguezais, permitindo sua expansão em áreas anteriormente dominadas por vegetação de água doce. Esse processo de salinização de áreas úmidas é global e está intimamente ligado às mudanças climáticas (Herbert *et al.*, 2015; Nachshon *et al.*, 2014). A elevação do nível do mar também resulta na intrusão de água salgada nos estuários e, ademais, um aumento na salinidade pode estar diretamente relacionado à antropização (Cañedo-Argüelles *et al.*, 2013).

Tabela 4: Variação do tamanho das áreas de manguezal no Brasil.

Localidade	Autores	Área de Mangue Alterada (ha)	Período
Baixo Sul da Bahia - BA	Souza <i>et al.</i> (2019)	-1.640	1994 - 2017
APA do Rio Ceará - CE	Reis-Neto <i>et al.</i> (2019)	626,2	1968 - 2009
Aracatimirim, Coreau, Jaguaribe, Pirangi, Tapuio e Trairí - CE	Godoy <i>et al.</i> (2019)	299	1992 - 2011
Estuário do Rio Coreau - CE	Rodrigues e Souza Filho (2020)	23,6	1985 - 2013
RESEX São João da Ponta, RESEX Mãe Grande de Curuçá e RESEX Mocapajuba - PA	Cavalcante <i>et al.</i> (2021)	-303	1984 - 2018
ARIE do Rio Mamanguape, APA da Barra do Rio Mamanguape, FLONA da Restinga de Cabedelo e RESEX Acaú-Goiana - PB	Medeiros <i>et al.</i> (2021)	-1.288	1980 - 2016

Canal de Santa Cruz, Sirinhaém e Suape - PE	Pelage <i>et al.</i> (2019)	445	1990 - 2015
São Francisco do Sul - SC	Paz & Voos Vieira (2018)	390	1986 - 2015
Sistema Estuarino de Santos e São Vicente - SP	Moschetto <i>et al.</i> (2021)	-1.060	1999 - 2019

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

No estado da Paraíba, Medeiros *et al.* (2023) avaliou a eficácia das unidades de conservação da esfera federal presentes no litoral, no que se refere à preservação das florestas de mangue e, por meio do uso de imagem Landsat 5, realizou uma análise espaço-temporal considerando o ano de criação de cada unidade de conservação. Na Tabela 5 é visto que outros estudos realizados em diferentes localidades tratam da mesma temática e apresentam dados sobre mapeamento e quantificação, além da avaliação de impactos e eficácia. Os dados constatarem a efetividade das áreas protegidas na preservação dos manguezais, além de destacar os benefícios da conservação formal.

Tabela 5: Publicações sobre manguezais em unidades de conservação no Brasil.

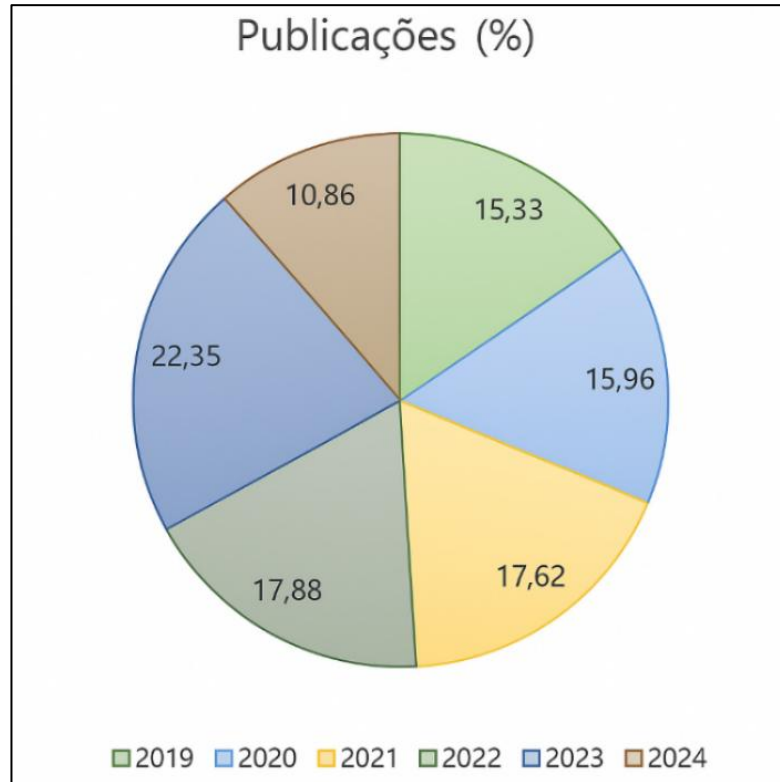
Localidade	Autores	Unidades de Conservação
Lagoa do Roteiro - AL	Silva <i>et al.</i> (2020)	1
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê Açu-Mirim - ES	Servino <i>et al.</i> (2018)	1
APA do Rio Ceará - CE	Reis-Neto <i>et al.</i> (2019)	1
RESEX São João da Ponta, RESEX Mãe Grande de Curuçá e RESEX Mocapajuba - PA	Cavalcante <i>et al.</i> (2021)	3
ARIE do Rio Mamanguape, APA da Barra do Rio Mamanguape, Floresta Nacional da Restinga de Cabedelo e RESEX Acaú-Goiana - PB	Medeiros <i>et al.</i> (2021 e 2023)	4
APA Delta do Parnaíba - PI	Barbosa <i>et al.</i> (2021)	1
Complexo estuarino Cananéia-Iguapé - SP	Moreno <i>et al.</i> (2023)	1

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

3.3 Índices de vegetação na identificação de manguezais

As produções acadêmicas que associam manguezais e índices de vegetação vêm apresentando um crescente volume de publicações, principalmente quando analisado o espaço-temporal escolhido para essa pesquisa. Na Figura 4, é visto que, entre os 158 artigos selecionados para a construção desse trabalho, 107 possuem algum índice de vegetação em sua metodologia.

Figura 4: Percentual de publicações relacionando índices de vegetação e manguezais.

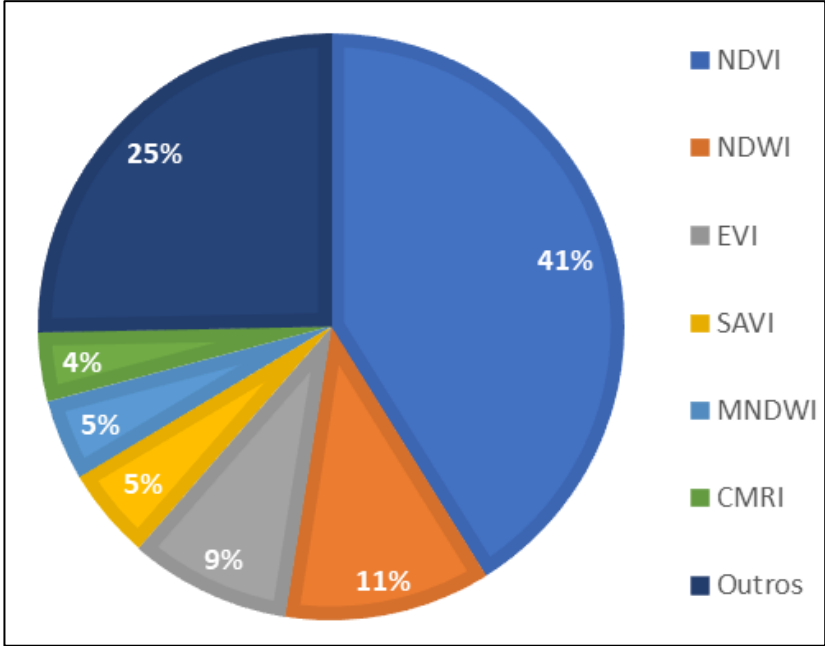


Fonte: Plataformas Scopus e Web of Science, 2024.

A análise das publicações revelou uma diversidade impressionante de 61 índices de vegetação diferentes. Esses índices desempenharam papéis fundamentais nas pesquisas, atuando como ferramentas principais ou contribuindo para a criação de novos índices. A variedade desses IVs reflete a complexidade e a amplitude das abordagens utilizadas na análise da vegetação através de dados de Sensoriamento Remoto, onde cada índice possui suas próprias características e métodos de cálculo (Freeman *et al.*, 2003; Jensen, 2009; Yue *et al.* 2023).

Os índices mais utilizados em publicações que abordam IV em estudos relacionados a manguezais são apresentados na Figura 5 e na Tabela 6, com uma visão abrangente dos índices mais relevantes e amplamente empregados nesse contexto. Destaca-se a diversidade de ferramentas disponíveis para estudar os manguezais e sua importância na pesquisa científica e na gestão ambiental.

Figura 5: Índices mais utilizados nas publicações que tratam de índice de vegetação e manguezal.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Tabela 6: Frequência dos índices em estudos de sensoriamento remoto de manguezais.

Índice de Vegetação	Nº de artigos
NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)	65
NDWI (<i>Normalized Difference Water Index</i>)	18
EVI (<i>Enhanced Vegetation Index</i>)	14
SAVI (<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>)	8
MNDWI (<i>Modified Normalized Difference Water Index</i>)	7
CMRI (<i>Combined Mangrove Recognition Index</i>)	6
Outros (ex.: GNDVI, NDMI, LSWI, índices específicos criados pelos autores)	53

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Desses, sobressai o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que está presente em 41% das publicações analisadas, o que o caracteriza como um dos IVs mais utilizados em Sensoriamento Remoto para monitorar a saúde e a densidade da vegetação em diferentes localidades. Ele é calculado a partir de dados de imagens de satélite e representa a diferença normalizada entre o espectro de reflectância da radiação no vermelho e infravermelho próximo. Devido à sua sensibilidade à quantidade e à condição da vegetação, o NDVI é amplamente utilizado em uma variedade de aplicações, sendo particularmente útil para detectar mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo e em grandes áreas, proporcionando uma visão abrangente da saúde dos ecossistemas terrestres (Groten, 1993; Maresma *et al.*, 2020).

As faixas espectrais e os índices calculados a partir dos dados obtidos por Sensoriamento Remoto multiespectral e hiperespectral são frequentemente empregados com o propósito de distinguir a cobertura de manguezais de outras formações vegetais. Adicionalmente, os IVs têm sido amplamente utilizados para a identificação e monitoramento de padrões de manguezais em regiões com uma notável diversidade de manguezais, onde o uso de séries temporais para examinar variações no espaço e tempo apresenta maior embasamento do que os métodos estatísticos menos complexos, como a simples sobreposição de duas imagens (Awty-Carroll *et al.*, 2019; de Jong *et al.*, 2021).

Nas últimas décadas, vários índices de vegetação foram desenvolvidos e aplicados para mapear as áreas de mangue a partir de imagens de satélite. No entanto, persiste o desafio de diferenciar com precisão o mangue de outras formas de vegetação, sobretudo em regiões onde as espécies se encontram entrelaçadas com outros tipos de flora (Baloloy *et al.*, 2020).

Baloloy *et al.* (2020) apresentaram um novo indicador simplificado de manguezais, denominado *Mangrove Vegetation Index* (MVI), fazendo uso das faixas espectrais do *Near Infrared* (NIR), *short-wave infrared* (SWIR1) e verde provenientes do satélite Sentinel-2. O MVI tem como finalidade realizar uma cartografia ágil e precisa da extensão dos manguezais a partir das imagens do Sentinel-2. Este índice permite diferenciar de modo eficiente o verde e a umidade dos manguezais em relação à vegetação terrestre e outras coberturas de solo presentes, sem a necessidade de empregar técnicas de classificação complexas.

Gupta *et al.* (2018) conceberam o *Combined Mangrove Recognition Index* (CMRI) com o propósito de distinguir a vegetação de mangue das categorias de vegetação não-mangue. Ademais, eles buscaram comparar o desempenho do CMRI com outros índices discriminatórios de vegetação já consolidados, tais como o *Soil-adjusted vegetation index* (SAVI), *Normalized difference water index* (NDWI) e o NDVI.

Jia *et al.* (2019) e Yang *et al.* (2022) desenvolveram índices de vegetação que possuem a capacidade de indicar a distribuição de florestas de mangues. O primeiro desenvolveu um novo índice de vegetação, denominado *Mangrove Forest Index* (MFI), capaz de mapear a distribuição de manguezais com base em uma imagem de uma única data, dos satélites Sentinel. Além disso, este novo IV é mais vantajoso na detecção de florestas de mangue submersas do que os índices tradicionais. O segundo, por sua vez, propôs o *Enhanced Mangrove Vegetation Index* (EMVI), baseado em imagens hiperespectrais para um mapeamento rápido e preciso, por meio do

aumento da diferença no verde e no teor de umidade da copa entre manguezais e outras vegetações.

Assim, observa-se uma grande diversidade de IVs específicos para análise em vegetação de mangue, conforme apresentado no Quadro 1. Esses índices representam uma ampla gama de abordagens metodológicas, que desempenham um papel fundamental na pesquisa e no monitoramento dos manguezais.

Quadro 1: Índices de vegetação específicos para manguezais.

Nome do índice	Autor	Fonte de dados	Fórmula
<i>Mangrove Recognition Index (MRI)</i>	Zhang and Tian, 2013	Landsat	$MRI = GVIL - GVIH * GVIL * (WIL + WIH)$
<i>Mangrove Index (MI)</i>	Winarso et al., 2014	Landsat	$MI = (NIR - SWIR / NIR \times SWIR) \times 10000$
<i>Normalized Difference Mangrove Index (NDMI)</i>	Shi et al., 2016	Landsat	$NDMI = (R_{SWIR2} - R_{Green}) / (R_{SWIR2} + R_{Green})$
<i>Mangrove Probability Vegetation Index (MPVI)</i>	Kumar et al., 2019	EO-1 Hyperion	$MPVI = \frac{n \sum_{i=1}^n R_i r_i - \sum_{i=1}^n R_i \sum_{i=1}^n r_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n R_i^2 - (\sum_{i=1}^n R_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n r_i^2 - (\sum_{i=1}^n r_i)^2}}$
<i>Combine Mangrove Recognition Index (CMRI)</i>	Gupta et al., 2018	Landsat	$CMRI = NDVI - NDWI$
<i>Submerged Mangrove Recognition Index (SMRI)</i>	Xia et al., 2018	GF-1/Landsat	$SMRI = (NDVI_l - NDVI_h) \cdot (NIR_l - NIR_h) / NIR_h$
<i>Mangrove Forest Index (MFI)</i>	Jia et al., 2019	Sentinel-2	$MFI = [(\rho_{\lambda 1} - \rho_{B\lambda 1}) + (\rho_{\lambda 2} - \rho_{B\lambda 2}) + (\rho_{\lambda 3} - \rho_{B\lambda 3}) + (\rho_{\lambda 4} - \rho_{B\lambda 4})] / 4$
<i>Mangrove Vegetation Index (MVI)</i>	Baloloy et al., 2020	Sentinel-2/Landsat	$MVI = (R_{NIR} - R_{Green}) / (R_{SWIR1} - R_{Green})$
<i>Normalized Intertidal Mangrove Index (NIMI)</i>	Fang et al., 2020	Sentinel-2	$NIMI = (NIR + SWIR) (NIR - SWIR)$
<i>Optical and SAR Images Combined Mangrove Index (OSCM)</i>	Huang et al., 2022	Sentinel-1/Sentinel-2	$OSCM = WI / (NIRB + SWIRB + VV)$

Fonte: Adaptado de Yang et al., 2022.

Dentre os avanços significativos na identificação e caracterização de manguezais, destacam-se os índices desenvolvidos por Kumar et al. em 2019. Esses índices representam ferramentas

valiosas no contexto do Sensoriamento Remoto e análise de dados hiperespectrais. O primeiro deles, o *Mangrove Probability Vegetation Index* (MPVI), desempenha um papel crucial na identificação dos manguezais em imagens hiperespectrais. Este índice de vegetação é projetado para mapear com precisão os pixels correspondentes aos manguezais em imagens hiperespectrais do sensor, destacando essas áreas vitais de vegetação costeira. Ele faz isso considerando as assinaturas espectrais específicas associadas aos manguezais, tornando-o uma ferramenta eficaz para a detecção desses ecossistemas em dados hiperespectrais.

O segundo índice, o *Normalized Difference Wetland Vegetation Index* (NDWVI), expande ainda mais as capacidades de identificação. O NDWVI utiliza as bandas hiperespectrais do sensor Hyperion para discriminar entre diferentes espécies de mangue e outras formas de vegetação que não fazem parte dos manguezais. Isso é particularmente útil para pesquisadores e gestores ambientais que desejam não apenas identificar manguezais, mas também entender melhor sua composição e diversidade botânica.

A identificação de espécies é outra técnica de grande relevância no estudo dos manguezais, esses avanços representam uma contribuição para a pesquisa e monitoramento das florestas de mangue, pois permitem uma análise mais precisa e detalhada das áreas costeiras. A capacidade de identificar e distinguir entre diferentes espécies de mangue é essencial para a conservação, gestão e compreensão dos manguezais, que são ecossistemas críticos para a saúde ambiental e a biodiversidade das regiões costeiras (Kumar *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2022).

Em Behera *et al.* (2021), os dados do satélite Sentinel-2 juntamente com índices de vegetação como NDVI e CMRI, classificou e mapeou três espécies dominantes, usando regiões espectrais de borda vermelha como discriminante da absorção de clorofila em uma floresta de mangue no leste da Índia. Já em Cao *et al.* (2018) foi desenvolvida uma metodologia para a classificação de espécies de mangue, utilizando imagens hiperespectrais obtidas por veículos aéreos não tripulados (VANTs) combinadas com informações tridimensionais fornecidas por modelos digitais de superfície. Essa junção permitiu a identificação e segmentação de objetos relevantes, como diferentes tipos de vegetação de mangue.

A eficiência dos IV, principalmente no monitoramento espaço-temporal da vegetação de mangue é uma ferramenta de gestão, preservação e conservação. Inventários e diagnósticos a partir de imagens de satélites são uma realidade, revelando, assim, mais uma possibilidade para os estudos das florestas de mangue (Chen *et al.*, 1986; Huete, 2012; Sun *et al.*, 2021).

4. CONCLUSÃO

O estudo destaca a importância do Sensoriamento Remoto na avaliação e mapeamento dos manguezais, enfatizando os avanços nas últimas décadas, que permitem uma análise mais precisa desses ecossistemas. As imagens de satélite se mostram eficazes no mapeamento da vegetação de mangue, graças à sua alta resolução espacial, capacidade multiespectral e frequência de revisitação. No entanto, há desafios na diferenciação entre florestas de mangue e outras coberturas vegetais, bem como na identificação de espécies de mangue.

Nesse contexto, o desenvolvimento de uma pesquisa bibliométrica oferece uma visão sobre a produção científica relacionada aos manguezais e ao Sensoriamento Remoto, particularmente no Brasil. A identificação e caracterização dos manguezais são fundamentais devido à sua importância ecológica e aos serviços que prestam.

Os estudos avaliados aqui abordam não apenas a extensão, mas também a dinâmica temporal dos manguezais, incluindo mudanças na distribuição e na saúde da vegetação. Essas informações são essenciais para a gestão e conservação ambiental, especialmente frente às mudanças climáticas e atividades humanas.

Ademais, a análise dos índices de vegetação revela a importância dessas métricas no monitoramento dos ecossistemas em estudo. Por fim, a diversidade de índices, como NDVI, MVI e CMRI, reflete a complexidade das abordagens metodológicas, permitindo uma análise detalhada e abrangente desses ecossistemas e auxiliando na identificação de mudanças na cobertura vegetal, na distribuição das espécies e nos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ABD-EL MONSEF, H.; SMITH, S. E. A new approach for estimating mangrove canopy cover using Landsat 8 imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 135, p. 183-194, 2017.

AIZPURU, M.; BLASCO, F. Global assessment of cover change of the mangrove forests using satellite imagery at medium to high resolution. [S. l.: s.n], 2000.

AKANNI, A.; ONWUTEAKA, J.; UWAGBAE, M.; MULWA, R.; ELEGBEDE, I. O. The values of angrove ecosystem services in the Niger delta region of Nigeria. *Em: THE POLITICAL ECOLOGY OF OIL AND GAS ACTIVITIES IN THE NIGERIAN AQUATIC ECOSYSTEM*. Amsterdã: **Elsevier**, 2018. p. 387–437. DOI: 10.1016/B978-0-12-809399-3.00025-2. Acesso em: 03 fev. 2025.

AL MAMUN, M. A.; AZAD, M. A. K.; AL MAMUN, M. A.; BOYLE, M. Review of flipped learning in engineering education: Scientific mapping and research horizon. **Education and Information**

Technologies, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 1261–1286, 2022. DOI: 10.1007/s10639-021-10630-z. Acesso em: 04 abr. 2025.

ALONGI, D. M. Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. **Sci**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 67, 2020. DOI: 10.3390/sci2030067. Acesso em: 07 ago. 2025.

AWTY-CARROLL, K.; BUNTING, P.; HARDY, A.; BELL, G. Using continuous change detection and classification of Landsat data to investigate long-term mangrove dynamics in the Sundarbans region. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 2833, 2019. DOI: 10.3390/rs11232833. Acesso em: 19 maio 2025.

BALOLOY, A. B.; BLANCO, A. C.; STA. ANA, R. R. C.; NADAOKA, K. Development and application of a new mangrove vegetation index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 166, p. 95–117, 2020. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001. Acesso em: 27 ago. 2025.

BARBOSA, D. L. D. S.; ALMEIDA, K. D. S.; SOUSA JÚNIOR, E. L. D.; MORAIS, R. C. D. S.; IWATA, B. D. F. Padrões espaciais e usos da terra em manguezais do delta do Parnaíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 3881–3890, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v14.7.p3881-3890. Acesso em: 09 ago. 2025.

BEHERA, M. D.; BARNWAL, S.; PARAMANIK, S.; DAS, P.; BHATTYACHARYA, B. K.; JAGADISH, B.; ROY, P. S.; GHOSH, S. M.; BEHERA, S. K. Species-level classification and mapping of a mangrove forest using random forest—Utilisation of AVIRIS-NG and sentinel data. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 2027, 2021. DOI: 10.3390/rs13112027. Acesso em: 18 jul. 2025.

BRASIL. Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre o Código Florestal**. 2012a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 15 jul. 2024.

BUNTING, P.; ROSENQVIST, A.; LUCAS, R. M.; REBELO, L.-M.; HILARIDES, L.; THOMAS, N.; HARDY, A.; ITOH, T.; SHIMADA, M.; FINLAYSON, C. M. The global mangrove watch—A new 2010 global baseline of mangrove extent. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 1669, 2018. DOI: 10.3390/rs14041034. Acesso em: 07 jun. 2025.

BUNTING, P.; ROSENQVIST, A.; HILARIDES, L.; LUCAS, R. M.; THOMAS, N. Global mangrove watch: updated 2010 mangrove forest extent (v2.5). **Remote Sensing**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 1034, 2022. DOI: 10.3390/rs10101669. Acesso em: 08 jan. 2025.

CABEZA, L. F.; FRAZZICA, A.; CHÀFER, M.; VÉREZ, D.; PALOMBA, V. Research trends and perspectives of thermal management of electric batteries: Bibliometric analysis. **Journal of Energy Storage**, [s. l.], v. 32, p. 101976, 2020. DOI: 10.1016/j.est.2020.101976. Acesso em: 30 ago. 2025.

CAÑEDO-ARGÜELLES, M.; KEFFORD, B. J.; PISCART, C.; PRAT, N.; SCHÄFER, R. B.; SCHULZ, C.-J. Salinisation of rivers: An urgent ecological issue. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 173, p. 157–167, 2013. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.10.011. Acesso em: 25 ago. 2025.

CAO, J.; LENG, W.; LIU, K.; LIU, L.; HE, Z.; ZHU, Y. Object-Based Mangrove Species Classification Using Unmanned Aerial Vehicle Hyperspectral Images and Digital Surface Models. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 89, 2018. DOI: 10.3390/rs10010089. Acesso em: 14 abr. 2025.

CAVALCANTE, J. D. C.; LIMA, A. M. M. D.; SILVA, J. C. C. D.; HOLANDA, B. S. D.; ALMEIDA, C. A. Temporal Analysis of the Mangrove Forest at the Mocajuba River Hydrographic Basin-Pará. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. e20200073, 2021. DOI: 10.1590/2179-8087-floram-2020-0073. Acesso em: 01 set. 2025.

CHEN, C. S.; TARDIN, A. T.; BATISTA, G. T. Índices de Vegetação e suas aplicações na agricultura. São José dos Campos, SP: **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE**, 1986. 24p. (INPE-3912-MD/030).

CORREIA, I. M. G.; SOUZA, Y. G.; SILVA, J. B. A legislação ambiental na proteção das áreas de mangue. In: Giovanni Seabra. (Org.). **TERRA: objetivos do desenvolvimento sustentável no mundo pandêmico**. 1ed. ITUIUTABA-MG: BARLAVENTO, 2023, v. 1, p. 436-447. DOI: 10.54400/978-65-87563-40-4. Acesso em: 27 ago. 2025.

DE JONG, S. M.; SHEN, Y.; DE VRIES, J.; BIJNAAR, G.; VAN MAANEN, B.; AUGUSTINUS, P.; VERWEIJ, P. Mapping mangrove dynamics and colonization patterns at the suriname coast using historic satellite data and the LandTrendr algorithm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s. l.], v. 97, p. 102293, 2021. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102293. Acesso em: 13 jul. 2025.

DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; NERINO, G.; RODRIGUES, J.; SADECK, L.; ADAMI, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Brazilian mangrove status: three decades of satellite data analysis. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 808, 2019. DOI: 10.3390/rs11070808. Acesso em: 11 ago. 2025.

ERFANIFARD, Y.; LOTFI NASIRABAD, M.; STERENĆZAK, K. Assessment of Iran's mangrove forest dynamics (1990–2020) using landsat time series. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 14, n. 19, p. 4912, 2022. DOI: 10.3390/rs14194912. Acesso em: 17 ago. 2025.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Mangrove forest management guidelines*. **Rome: FAO**, 1994. 319 p. (FAO Forestry Paper, n. 117).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *The world's mangroves, 1980-2005: a thematic study in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. **Rome: FAO**, 2007. 77 p. (FAO Forestry Paper, n. 153).

FAO (org.). Global forest resources assessment 2015: how are the world's forests changing? Second editioned. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2016.

FREEMAN, K. W.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; MULLEN, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 34, n. 13–14, p. 1837–1852, 2003. DOI: 10.1081/CSS-120023219. Acesso em: 22 ago. 2025.

GIARDINO, C.; BRANDO, V. E.; GEGER, P.; PINNEL, N.; HOCHBERG, E.; KNAEPS, E.; REUSEN, I.; DOERFFER, R.; BRESCIANI, M.; BRAGA, F.; FOERSTER, S.; CHAMPOLLION, N.; DEKKER, A. Imaging spectrometry of inland and coastal waters: state of the art, achievements and perspectives. **Surveys in Geophysics**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 401–429, 2019. DOI: 10.1007/s10712-018-9476-0. Acesso em: 11 ago. 2025.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 154–159, 2011. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x. Acesso em: 17 jan. 2025.

GODOY, M. D. P.; MEIRELES, A. J. A.; LACERDA, L. D. de. Mangrove response to land use change in estuaries along the semi-arid coast of Ceará, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 34, n. 3, p. 524–533, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16-00138.1>. Acesso em: 16 jul. 2024.

GOLDBERG, L.; LAGOMASINO, D.; THOMAS, N.; FATOYINBO, T. Global declines in human-driven mangrove loss. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 5844–5855, 2020. DOI: 10.1111/gcb.15275. Acesso em: 07 jul. 2025.

GROOMBRIDGE, B. (Org.). *Global biodiversity: status of the Earth's living resources*. Dordrecht: **Springer Netherlands**, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2282-5>. Acesso em: 18 ago. 2025.

GROTEN, S. M. E. NDVI—crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 14, n. 8, p. 1495–1515, 1993. DOI: 10.1080/01431169308953983. Acesso em: 07 set. 2025.

GUPTA, K.; MUKHOPADHYAY, A.; GIRI, S.; CHANDA, A.; DATTA MAJUMDAR, S.; SAMANTA, S.; MITRA, D.; SAMAL, R. N.; PATTNAIK, A. K.; HAZRA, S. An index for discrimination of mangroves from non-mangroves using LANDSAT 8 OLI imagery. **MethodsX**, [s. l.], v. 5, p. 1129–1139, 2018. DOI: 10.1016/j.mex.2018.09.011. Acesso em: 04 ago. 2025.

HAMILTON, S. E.; CASEY, D. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 729–738, 2016. DOI: 10.1111/geb.12449. Acesso em: 26 ago. 2025.

HAYASHI, S. N.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; NASCIMENTO, W. R.; FERNANDES, M. E. B. The effect of anthropogenic drivers on spatial patterns of mangrove land use on the Amazon coast. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. e0217754, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0217754. Acesso em: 10 jun. 2025.

HERBERT, E. R.; BOON, P.; BURGIN, A. J.; NEUBAUER, S. C.; FRANKLIN, R. B.; ARDÓN, M.; HOPFENSBERGER, K. N.; LAMERS, L. P. M.; GELL, P. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. **Ecosphere**, [s. l.], v. 6, n. 10, p. 1–43, 2015. DOI: 10.1890/ES14-00534.1. Acesso em: 01 mar. 2025.

HERRERA-SILVEIRA, J. A.; PECH-CARDENAS, M. A.; MORALES-OJEDA, S. M.; CINCO-CASTRO, S.; CAMACHO-RICO, A.; CAAMAL SOSA, J. P.; MENDOZA-MARTINEZ, J. E.; PECH-POOT, E. Y.; MONTERO, J.; TEUTLI-HERNANDEZ, C. Blue carbon of Mexico, carbon stocks and fluxes: a systematic review. *PeerJ*, [s. l.], v. 8, p. e8790, 2020. DOI: 10.7717/peerj.8790. Acesso em: 27 ago. 2025.

HUANG, K.; YANG, G.; YUAN, Y.; SUN, W.; MENG, X.; GE, Y. Optical and SAR images combined Mangrove index based on multi-feature fusion. *Science of Remote Sensing*, [s. l.], v. 5, p. 100040, 2022. DOI: 10.1016/j.srs.2022.100040. Acesso em: 15 ago. 2025.

HUETE, A. R. Vegetation Indices, Remote Sensing and Forest Monitoring. *Geography Compass*, [s. l.], v. 6, n. 9, p. 513–532, 2012. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2012.00507.x. Acesso em: 01 mar. 2025.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE; BRAZIL (org.). Atlas dos manguezais do Brasil. **Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/atlas-1/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf. Acesso em: 17 jul. 2024.

ISLAM, Md. M.; BORGQVIST, H.; KUMAR, L. Monitoring Mangrove forest landcover changes in the coastline of Bangladesh from 1976 to 2015. *Geocarto International*, [s. l.], v. 34, n. 13, p. 1458–1476, 2019. DOI: 10.1080/10106049.2018.1489423. Acesso em: 15 abr. 2025.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. Parêntese Editora, 2009.

JIA, M.; WANG, Z.; WANG, C.; MAO, D.; ZHANG, Y. A new vegetation index to detect periodically submerged mangrove forest using single-tide Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, [s. l.], v. 11, n. 17, p. 2043, 2019. DOI: 10.1016/j.scib.2023.05.004. Acesso em: 04 set. 2025.

JIA, M.; WANG, Z.; MAO, D.; REN, C.; SONG, K.; ZHAO, C.; WANG, C.; XIAO, X.; WANG, Y. Mapping global distribution of mangrove forests at 10-m resolution. *Science Bulletin*, [s. l.], v. 68, n. 12, p. 1306–1316, 2023. DOI: 10.3390/rs11172043. Acesso em: 11 ago. 2025.

KIDA, M.; FUJITAKE, N. Organic carbon stabilization mechanisms in mangrove soils: A Review. *Forests*, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 981, 2020. DOI: 10.3390/f11090981. Acesso em: 27 jul. 2025.

KUMAR, T.; MANDAL, A.; DUTTA, D.; NAGARAJA, R.; DADHWAL, V. K. Discrimination and classification of mangrove forests using EO-1 Hyperion data: a case study of Indian Sundarbans. *Geocarto International*, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 415–442, 2019. DOI: 10.1080/10106049.2017.1408699. Acesso em: 10 abr. 2025.

LANLY, J.-P. *Tropical forest resources*. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 1982. (FAO Forestry Paper, v. 30).

LOMBARD, F.; SOUMARÉ, S.; ANDRIEU, J.; JOSSELIN, D. Mangrove zonation mapping in West Africa, at 10-m resolution, optimized for inter-annual monitoring. *Ecological Informatics*, [s. l.], v. 75, p. 102027, 2023. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2023.102027. Acesso em: 07 ago. 2025.

MARESMA, A.; CHAMBERLAIN, L.; TAGARAKIS, A.; KHAREL, T.; GODWIN, G.; CZYMMEK, K. J.; SHIELDS, E.; KETTERINGS, Q. M. Accuracy of NDVI-derived corn yield predictions is impacted by time of sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 169, p. 105236, 2020. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105236. Acesso em: 06 ago. 2025.

MEDEIROS, I. D. S.; REBELO, V. A.; SANTOS, S. S. D.; MENEZES, R.; ALMEIDA, N. V.; MESSIAS, L. T.; NASCIMENTO, J. L. X. D.; LUNA, F. D. O.; MARMONTEL, M.; BORGES, J. C. G. Spatiotemporal dynamics of mangrove forest and association with strandings of Antillean manatee (*Trichechus manatus*) calves in Paraíba, Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, [s. l.], v. 101, n. 3, p. 503–510, 2021. DOI: 10.1017/S002531542100045X. Acesso em: 17 jan. 2025.

MEDEIROS, I. S.; SANTOS, S. S.; REBELO, V. A.; ALMEIDA, I. C.; VELOSO, T. M. G.; ALMEIDA, N. V.; BORGES, J. C. G. 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**, [s. l.], v. 95, n. 1, p. e20211079, 2023. DOI: 10.1590/0001-3765202320211079. Acesso em: 17 ago. 2025.

MONDAL, P.; TRZASKA, S.; DE SHERBININ, A. Landsat-derived estimates of mangrove extents in the Sierra Leone coastal landscape complex during 1990–2016. **Sensors**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 12, 2017. DOI: 10.3390/s18010012. Acesso em: 01 ago. 2025.

MORENO, G. M. D. S.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; DE CARVALHO, O. L. F.; ANDRADE, T. C. Deep semantic segmentation of mangroves in Brazil combining spatial, temporal, and polarization data from Sentinel-1 time series. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 231, p. 106381, 2023. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106381. Acesso em: 27 jul. 2025.

MOSCHETTO, F. A.; RIBEIRO, R. B.; DE FREITAS, D. M. Urban expansion, regeneration and socioenvironmental vulnerability in a mangrove ecosystem at the southeast coastal of São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 200, p. 105418, 2021. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105418. Acesso em: 08 ago. 2025.

NACHSHON, U.; IRESON, A.; VAN DER KAMP, G.; DAVIES, S. R.; WHEATER, H. S. Impacts of climate variability on wetland salinization in the North American prairies. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 1251–1263, 2014. DOI: 10.5194/hess-18-1251-2014. Acesso em: 07 ago. 2025.

PARIDA, B. R.; KUMAR, P. Mapping and dynamic analysis of mangrove forest during 2009–2019 using landsat–5 and sentinel–2 satellite data along Odisha Coast. **Tropical Ecology**, [s. l.], v. 61, n. 4, p. 538–549, 2020. DOI: 10.1007/s42965-020-00112-7. Acesso em: 10 fev. 2025.

PELAGE, L.; DOMALAIN, G.; LIRA, A. S.; TRAVASSOS, P.; FRÉDOU, T. Coastal Land Use in Northeast Brazil: Mangrove Coverage Evolution Over Three Decades. **Tropical Conservation Science**, [s. l.], v. 12, p. 1940082918822411, 2019. DOI: 10.1177/1940082918822411. Acesso em: 09 ago. 2025.

PHAM, T.; YOKOYA, N.; BUI, D.; YOSHINO, K.; FRIESS, D. Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: opportunities and challenges. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 230, 2019. DOI: 10.3390/rs11030230. Acesso em: 10 mar. 2025.

REIS-NETO, A. S. D.; MEIRELES, A. J. D. A.; CUNHA-LIGNON, M. Natural regeneration of the mangrove vegetation on abandoned salt ponds in Ceará, in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Diversity**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 27, 2019. DOI: 10.3390/d11020027. Acesso em: 15 ago. 2025.

RODRIGUES, S. W. P.; SOUZA FILHO, P. W. M. E. Detecção de mudanças no manguezal ao longo do estuário do Rio Coreaú, nordeste do Brasil a partir da classificação orientada a objeto em imagens Orbitais. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s. l.], v. 43, n. 3, 2020. DOI: 10.11137/2020_3_158_169. Acesso em: 09 ago. 2025.

SAENGER, P.; HEGERL, E. J.; DAVIE, J. D. Global status of mangrove ecosystems. **International Union for Conservation of Nature and Natural Resources**, n. 3, 1983. DOI: 10.1007/BF02340516. Acesso em: 10 ago. 2025.

SANTOS PAZ, J. P.; VIEIRA, C. V. Evolução do uso e cobertura do solo no município de São Francisco do Sul – Estado de Santa Catarina. **Boletim Paranaense de Geociências**, [s. l.], v. 74, n. 1, 2018. DOI: 10.5380/geo.v74i1.50945. Acesso em: 07 ago. 2025.

SEMENIUK, V.; CRESSWELL, I. D. Australian mangroves: anthropogenic impacts by industry, agriculture, ports, and urbanisation. Em: MAKOWSKI, C.; FINKL, C. W. (Org.). **Threats to mangrove forests**. Cham: Springer International Publishing, 2018. v. 25, p. 173–197. DOI: 10.1007/978-3-319-73016-5_9. Acesso em: 06 de ago. 2025.

SERVINO, R. N.; GOMES, L. E. D. O.; BERNARDINO, A. F. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 628–629, p. 233–240, 2018a. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.068. Acesso em: 05 jun. 2025.

SHI, T.; LIU, J.; HU, Z.; LIU, H.; WANG, J.; WU, G. New spectral metrics for mangrove forest identification. **Remote Sensing Letters**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 885–894, 2016. DOI: 10.1080/2150704X.2016.1195935. Acesso em: 20 ago. 2025.

SILVA, E.; GALVÍNCIO, J. D.; BRANDÃO NETO, J. L.; MORAIS, Y. C. B. Space-time analysis of environmental changes and your reflection on the development of phenological of vegetation of mangrove. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.15640/jaes.v4n1a30>. Acesso em: 05 ago. 2025.

SILVA, J. B. *Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do ecossistema manguezal em Pernambuco*. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Recife.

SILVA, S. A.; BARROS, V. P. de O.; OLIVEIRA, A. R. de. Estrutura fitossociológica do manguezal da Lagoa do Roteiro, Alagoas, Nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 532–541, 2020. DOI: 10.5902/1980509839676. Acesso em: 27 ago. 2025.

SONG, S.; DING, Y.; LI, W.; MENG, Y.; ZHOU, J.; GOU, R.; ZHANG, C.; YE, S.; SAINTILAN, N.; KRAUSS, K. W.; CROOKS, S.; LV, S.; LIN, G. Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than

afforestation for mitigating global climate change. **Nature Communications**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 756, 2023. DOI: 10.1038/s41467-023-36477-1. Acesso em: 07 set. 2025.

SOUZA, A. P. S. D.; SOUZA, I. S. D.; OLAVO, G.; LOBÃO, J. S. B.; SÃO JOSÉ, R. V. D. Mapeamento e identificação de vetores responsáveis pela supressão do manguezal na Zona Costeira do Baixo Sul da Bahia, Brasil (Mapping and identification of vectors responsible for mangrove suppression in the Southern Bahia Lowlands, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 2503–2521, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v12.7.p2503-2521. Acesso em: 30 ago. 2025.

SPALDING, M.; BLASCO, F.; FIELD, C.; INTERNATIONAL SOCIETY FOR MANGROVE ECOSYSTEMS; WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE; INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (Org.). *World mangrove atlas*. Okinawa: **The International Society for Mangrove Ecosystems**, 1997.

SREELEKSHMI, S.; PREETHY, C. M.; VARGHESE, R.; JOSEPH, P.; ASHA, C. V.; BIJOY NANDAN, S.; RADHAKRISHNAN, C. K. Diversity, stand structure, and zonation pattern of mangroves in southwest coast of India. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 573–582, 2018. DOI: 10.1016/j.japb.2018.08.001. Acesso em: 15 ago. 2025.

SUN, Q.; JIAO, Q.; QIAN, X.; LIU, L.; LIU, X.; DAI, H. Improving the retrieval of crop canopy chlorophyll content using vegetation index combinations. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 470, 2021. DOI: 10.3390/rs13030470. Acesso em: 17 abr. 2025.

THOMAS, N.; BUNTING, P.; LUCAS, R.; HARDY, A.; ROSENQVIST, A.; FATOYINBO, T. Mapping mangrove extent and change: A globally applicable approach. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1466, 2018. DOI: 10.3390/rs10091466. Acesso em: 20 ago. 2025.

TRAN, T. V.; REEF, R.; ZHU, X.; GUNN, A. Characterising the distribution of mangroves along the southern coast of Vietnam using multi-spectral indices and a deep learning model. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 923, p. 171367, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171367. Acesso em: 23 jul. 2025.

WINARSO, G.; PURWANTO, A.; YUWONO, D. New mangrove index as degradation/health indicator using remote sensing data: Segara Anakan and Alas Purwo case study. In: **12th BIENNIAL PAN OCEAN REMOTE SENSING CONFERENCE (PORSEC)**, 12., 2014, Denpasar, Bali, Indonésia. *Proceedings: Ocean Remote Sensing for Sustainable Resources*. Jakarta: LAPAN, 2015. p. 309–316. ISBN 978-602-72335-0-8. Acesso em: 17 ago. 2025.

WORTHINGTON, T.; SPALDING, M. Mangrove restoration potential: a global map highlighting a critical opportunity. [s. l.]: Apollo – University of Cambridge Repository, 2018. DOI: 10.17863/CAM.39153. Acesso em: 30 ago. 2025.

XIA, Q.; QIN, C.-Z.; LI, H.; HUANG, C.; SU, F.-Z. Mapping mangrove forests based on multi-tidal high-resolution satellite imagery. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1343, 2018. DOI: 10.3390/rs10091343. Acesso em: 01 set. 2025.

XIA, Q.; QIN, C.-Z.; LI, H.; HUANG, C.; SU, F.-Z.; JIA, M.-M. Evaluation of submerged mangrove recognition index using multi-tidal remote sensing data. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 113, p. 106196, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106196. Acesso em: 25 ago. 2025.

XU FANG, G. X., ZHANG Ying, ZHAI Liang, LIU Jia. Extraction method of intertidal mangrove by using Sentinel-2 images. **Bulletin of Surveying and Mapping**, [s. l.], v. 0, n. 2, p. 49, 2020. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2020.0043. Acesso em: 17 jul. 2025.

YANG, G.; HUANG, K.; SUN, W.; MENG, X.; MAO, D.; GE, Y. Enhanced mangrove vegetation index based on hyperspectral images for mapping mangrove. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 189, p. 236–254, 2022. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2022.05.003. Acesso em: 27 ago. 2025.

YUE, J.; TIAN, J.; PHILPOT, W.; TIAN, Q.; FENG, H.; FU, Y. VNAI-NDVI-space and polar coordinate method for assessing crop leaf chlorophyll content and fractional cover. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 207, p. 107758, 2023. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107758. Acesso em: 25 jul. 2025.

ZHANG, X.; TIAN, Q. A mangrove recognition index for remote sensing of mangrove forest from space. **Current Science**, [s. l.], v. 105, p. 1149–1154, 2013. Acesso em: 27 abr. 2025.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015. DOI: 10.1177/1094428114562629. Acesso em: 10 ago. 2025.

Artigo submetido em: 18/06/2025

Artigo aceito em: 14/08/2025

Artigo publicado em: 04/10/2025



*Este é um artigo publicado com acesso aberto sob Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*