



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO**

ANDRESSA TAMIRES ARAÚJO GOMES

**ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ NA FLORESTA DE MANGUE FOZ DO RIO
MAMANGUAPE – PB, BRASIL**

CAMPINA GRANDE - PB

2023

ANDRESSA TAMIRES ARAÚJO GOMES

**ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ NA FLORESTA DE MANGUE FOZ DO RIO
MAMANGUAPE – PB, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Área de concentração: Processos Ecológicos e Funcionamento em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

Orientador: Dr. André Luiz Machado Pessanha
Coorientação: Dr^a. Janaina Barbosa da Silva

CAMPINA GRANDE, PB

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G633e Gomes, Andressa Tamires Araújo.
Estimativa do fluxo de CO2 na floresta de mangue foz do Rio Mamanguape – PB, Brasil [manuscrito] / Andressa Tamires Araújo Gomes. - 2023.
53 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. André Luiz Machado Pessanha, Departamento de Biologia - CCBS. "

"Coorientação: Profa. Dra. Janaina Barbosa da Silva , Departamento de Biologia - CCBS. "

1. Índices de vegetação. 2. Sentinel B. 3. Carbono azul. 4. Densidade florestal. I. Título

21. ed. CDD 577

ANDRESSA TAMIRES ARAÚJO GOMES

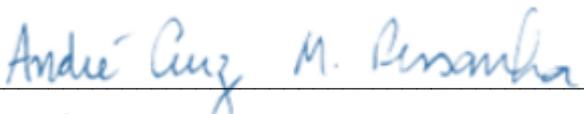
**ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ NA FLORESTA DE MANGUE FOZ DO RIO
MAMANGUAPE – PB, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Área de concentração: Processos Ecológicos e Funcionamento em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

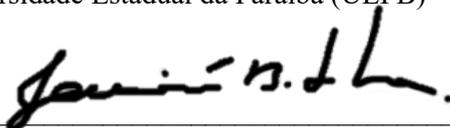
Aprovado(a) em: 01/ 12/ 2023.

BANCA EXAMINADORA



PROF. DR. ANDRÉ LUIZ MACHADO PESSANHA (ORIENTADOR)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



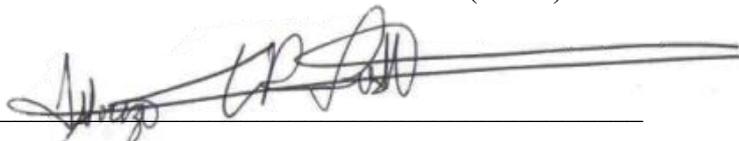
PROF. DR^a. JANAINA BARBOSA DA SILVA (COORIENTADORA)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



PROF. DR. ELLORI LAÍSE SILVA MOTA (AVALIADOR INTERNO)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



PROF. DR. FABRIZIO DE LUIZ ROSITO LISTO (AVALIADOR EXTERNO)

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



Coleta de Mariscos realizados por mulheres na Foz do Rio Mamanguape. Foto: Andressa Tamires, 2017.

*A todos aqueles que não desistem da dignidade de vida. Em especial ao meu companheiro e melhor amigo **Pedro**, que sabe o quanto custou chegar até aqui, **DEDICO**.*

AGRADECIMENTOS

Esse é um tipo de trabalho que **NÃO** se faz sozinha, assim: - “Chegou ao fim”! E eu precisava dizer isso! Porque, o que importa não é chegar, mas sim como foi a caminhada até aqui. Acreditem, é no curto espaço de tempo que a vida nos surpreende, nos mostrando o quanto podemos aprender, mas não apenas ecologia e conservação, e sim tudo aquilo que o caminho nos ensina de verdade, adaptar-se a tudo aquilo que não se tem controle. Encontrar-se sempre com o inesperado!

O que tornou essa jornada, que foi um dos maiores e mais descontrolados desafios da minha vida, como sem dúvida, foram as relações estabelecidas. Costumo dizer que tive um *upgrade* na vida, ou muita, muita sorte em estar cercada por pessoas maravilhosas. Na academia não foi diferente. Então: Não importa o quanto eu tente retribuir os ensinamentos, a paciência, quem dirá então a amizade dispensada, sempre estarei em dívida com meu Orientador e minha Coorientadora, **DR. ANDRÉ PESSANHA E DR^a JANAÍNA SILVA**. André é uma pessoa que precisamos tirar o chapéu. Cara humilde, inteligente, companheiro, um verdadeiro GURU da biologia e da vida! Muito além de ecologia e dos peixes..., aprendi com o André qualidades como liderança, ética e dedicação ao que se faz. Com Jana, a potência de ser humano, além do profissional, a sua forma de ver as pessoas na sua humanidade me faz entender o quanto é significativo chegar até aqui. Lutar por uma vida melhor! Buscar não desistir e continuar até conseguir! Então minha gratidão por todo conhecimento, pela amizade, o compartilhamento de experiências, a dedicação, todas as oportunidades, principalmente, todo crescimento pessoal e profissional proporcionado. **AOS DOIS**, espero conseguir proporcionar para meus futuros alunos a mesma segurança, conhecimento e carinho. **OBRIGADO POR TUDO!**

Agradeço a todos aqueles que compõem o Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba (PPGEC-UEPB), um sonho cogitado e hoje uma realidade em minha vida. Em especial a secretária Alana que me auxiliou em toda burocracia, com elegância e paciência, e boas conversas sobre nossas vidas. Todo acolhimento e atenção fornecidos por esses anos, foram chama para continuar.

Aos meus amigos e companheiros de turma do mestrado 2021 PPGEC, que compartilhamos todas as nossas angústias e atividades juntos, mesmo de forma online, criamos um vínculo para toda vida. Em especial a Karla Katia na potência que essa mulher representa como estudante e mãe, Raianne com toda humildade e amizade e a Camila (doutorado) por toda troca de compreensão e expectativas de vidas futuras, compartilhamos muito mais que conteúdos de

ecologia, compartilhamos nossas vidas. Ainda mais, pela confiança em mim depositada para representa-los no colegiado, o que me fez muita diferença. Gratidão!

Aos professores desse programa, em especial a Prof^a. Dr^a. Bianca Terra e Prof^a. Dr^a. Alessandra Brandão que nos guiaram de forma espetacular pelas disciplinas e com muitas doses de humor e incentivo! Toda aula tinha uma reflexão **ENORME** sobre a vida real.

À coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) que me permitiu se dedicar a tamanho feito, meus sinceros agradecimentos pela concessão de bolsa. Também um sonho vivido. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecer aos professores (as) da banca examinadora Prof Ellori Motta e Prof Fabrizio Listo pela disponibilidade e contribuições para o trabalho.

Aos moradores de Barra de Mamanguape, por todo acolhimento e prestação de serviços que nos são fornecidos no local. Amizade e companheirismo indispensáveis. Esse trabalho não seria possível sem vocês, gratidão! Amo esse lugar de coração e alma!

Ao grupo intitulado como “*núcleo de pesquisa de Mamanguape*”: Welandro, com toda sua energia boa e troca de conteúdo sobre a área de estudo. A minha querida Amiga, Lamara que de Portugal trocávamos conhecimento e muita lamentação. O companheiro Yuri Souza, grande pessoa e profissional que ajudou muito com toda orientação e conhecimento dispensado. *Com maior apreço a Carol, um furacão da natureza em minha vida, além de todo conhecimento compartilhado, a persona de Carol eleva todos os meus sonhos e construímos muitas possibilidades para alcança-los, não tenho palavras para dizer o quanto Carol foi importante como amiga, como profissional e como terapeuta, de vez em quando.* Obrigada meus queridos!

Ao grupo de pesquisa CAGEOS, em especial aos Meus queridos amigos (essas potências) Máira Suênia, Ana Paula e Marcos Leonardo, não só pela contribuição no trabalho, mas principalmente pela amizade, cuidado, companheirismo e muitas risadas juntos. Cada conversa, cada coleta e cada encontro limpavam toda negatividade de meu coração, é um afago estar com vocês. Obrigada meus amigos.

Até minhas companheiras de hidroginásticas, enquanto grávida, e que no pós parto se ofereceram para ficar com Noah, para que eu pudesse escrever esse trabalho, agradeço (vizinhas do Dallas Park). Obrigada minhas queridas!

Agradeço com todas as minhas forças e alma, a minha família biológica (pais, avós, tios, irmãos e primos) e aos pais do meu esposo que considero como pais adotivos, Srº Marcos Antônio (*in memory*) e Srª Maria José por tamanho apoio, torcida e prontidão em tentar compreender e ajudar em tanta correria e luta diária. Amo vocês incondicionalmente! E a minha família “AMAIGOZOS”, uma família escolhida de coração para fazer parte de minha vida, e que se fazem presentes em absolutamente tudo, inclusive nessa seleção! Amo vocês imensamente!

Por fim, aos amores da minha vida, que todos os dias me iluminam com a sua presença e amor de outras vidas, meu marido Pedro e meu filho Noah (Nonoh).

Gratidão pela vida!

ACREDITAR É INDISPENSÁVEL!

“O mar, uma vez que lança seu feitiço, mantém um em sua rede de maravilha para sempre.” - Jacques Custeau.”

RESUMO

As florestas de mangue fazem parte da paisagem costeira em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. São reconhecidas como boas bioindicadoras de mudanças ambientais e fornecem uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, incluindo a absorção e estocagem de carbono, que ganham importância global diante das mudanças climáticas. Nesse contexto, o objetivo foi investigar o papel das diferentes densidades da floresta de mangue através da estimativa de absorção e estoque de carbono atmosférico do estuário do Rio Mamanguape, situado no Litoral Norte da Paraíba, Brasil. Diante disso, realizou-se mapeamento dos dosséis de floresta de mangue da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) através de sensoriamento remoto com satélite da missão Sentinel-2B. As imagens foram processadas para estimar e classificar a densidade florestal de mangue, eficiência fotossintética e a estimativa de fluxo de CO₂ das diferentes densidades através de Índices de vegetação (IVDN, PRI, sPRI e CO₂flux). Os resultados apontaram que a maior parte floresta é coberta por uma vegetação classificada como densa (95,7%), sendo responsável por 59,9% da absorção do fluxo de carbono atmosférico. A eficiência fotossintética e o fluxo de CO₂ apresentaram maiores valores em direção a parte superior do estuário. Os altos valores dos índices de vegetação indicaram uma floresta de mangue sadia e conservada. Esse estudo contribuiu para ampliar o conhecimento sobre as estimativas de CO₂ em manguezais da costa semiárida do Brasil, uma vez que esses ecossistemas costeiros nessa área estão mais vulneráveis aos impactos mudanças climáticas.

Palavras-Chave: carbono azul; densidade florestal; sentinel 2b; índices de vegetação.

ABSTRACT

Mangrove forests occupy tropical, subtropical and temperate coastal zones. They are recognized as good bioindicators of environmental changes and provide a wide range of ecosystem services, including carbon capture and storage, which gain global importance in the face of climate change. In this context, the aim of this study was to investigate the role of different mangrove forest densities in carbon capture and storage at Mamanguape River estuary, Paraíba, Brazil. In view of this, a mapping of the mangrove forest in an area of relevant ecological interest (ARIE) was realized using an image analysis and a massive collection of Sentinel-2B images. The images were processed to estimate and classify mangrove forest density, photosynthetic efficiency and estimate the CO₂ flux of different densities through vegetation indices (IVDN, PRI, sPRI and CO₂flux). The results showed that most of the forest is covered by dense vegetation (95.7%), being responsible for 59.9% of the absorption of atmospheric CO₂. Photosynthetic efficiency and CO₂ flux showed higher values towards the upper estuarine zone. The high values of vegetation indices indicated a healthy and preserved mangrove forest. This study contributed to expanding knowledge about CO₂ estimates in mangroves on the semi-arid coast of Brazil, since these coastal ecosystems in this area are more vulnerable to the impacts of climate change.

Keywords: blue carbon; forest density; sentinel 2b; vegetation indices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização do Estuário do Rio Mamanguape, PB/Brasil	.....	24
Figura 2: Fluxograma de procedimentos metodológicos.	.....	26
Figura 3: Mapa usado para validação em campo de densidade florestal da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB	.....	33
Figura 4: Estimativa de densidade florestal da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.	.....	35
Figura 5: Estimativa da eficiência fotossintética da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.	.....	38
Figura 6: Estimativa de CO ₂ Flux da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.	.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de IVDN com base na classificação de floresta de mangue.	.....	29
Tabela 2: Valores de IVDN distribuídos nas classes de vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape, PB (2021).	.....	36
Tabela 3: Valores de PRI e reescalamto de valores para sPRI na vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape (2021).	.....	36
Tabela 4: Valores de CO ₂ flux para as classes da vegetação distinguidas na floresta de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape.	.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
BC	“Carbono Azul” - <i>Blue Carbon</i>
BCE	“Ecossistemas de carbono azul” - <i>Blue carbon ecosystems</i>
CO ₂	Gás carbônico
CO ₂ flux	Fluxo de carbono – <i>Carbon Flow</i>
DN	Números Digitais
ERM	Estuário do Rio Mamanguape
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IV	Índice de Vegetação
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
MA	Ministério de Meio Ambiente
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PRI	Índice de Reflectância Fotoquímica – <i>Photochemical Reflectance Index</i>
TEEB	<i>The Economics of Ecosystems and Biodiversity</i>
TOA	Topo da Atmosfera - <i>Top Of Atmosphere</i>
UCs	Unidades de Conservação
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos - <i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa Mercator

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Base de classes atribuídas ao IVDN, estudos de Bandeira e Cruz (2021)	.....	29
Quadro 2: Representação das classes de vegetação de mangue Esparsa, semidesa e Densa, <i>in loco</i> para a floresta de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape;	.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO	20
3	CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ EM DIFERENTES DENSIDADES DA FLORESTA DE MANGUE NO ESTUÁRIO RIO MAMANGUAPE – PB, BRASIL	21
3.1	Introdução	21
3.2	Caracterização da área de estudo	23
4	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS	26
4.1	Aquisição e caracterização de imagens/cenas de satélite	26
4.2	Processamento digital de imagem	27
4.3	Aplicação dos Índices de Vegetação e densidade	28
4.3.1	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN (Normalized Difference Vegetation Index - IVDN) e classificação de densidade de floresta</i>	28
4.3.2	<i>Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) e Índice de Reflectância Fotoquímica Melhorado (sPRI)</i>	30
4.3.3	<i>Índice de Vegetação de Fluxo de Carbono (CO₂Flux)</i>	31
4.4	Classificação supervisionada no software QGIS	31
4.5	Validação da classificação em campo	32
5	RESULTADOS	34
6	DISCUSSÃO	41
7	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os manguezais são ecossistemas que ocupam a interface entre os ambientes marinhos e terrestres, e são reconhecidos mundialmente pela diversidade de serviços ecossistêmicos, desempenhando funções de importância ecológica, econômica, cultural e social (Estrada; Soares, 2017). Essas florestas demonstram uma notável capacidade de adaptação a uma ampla faixa de salinidade, variando desde águas doces até ambientes hipersalinos. No entanto, a sua ocorrência em áreas continentais é limitada devido à competição com outras espécies vegetais adaptadas ao ambiente terrestre (Estrada; Soares, 2017; Romañach *et al.*, 2018). Possuem alta heterogeneidade de habitat, é rica em biodiversidade, e servem de abrigo, alimento e proteção para reprodução de diversas espécies de vertebrados e invertebrados (Silva *et al.*, 2020; Barros *et al.*, 2021; Azoulay, 2022; Rovai *et al.*, 2022). Além disso, os manguezais desempenham um papel crucial na filtragem e retenção de nutrientes e poluentes, incluindo metais pesados. Eles também sustentam comunidades tradicionais, fornecem recursos essenciais, como peixes, madeira e uma variedade de produtos florestais não madeireiros, que são compostos de recursos naturais a recursos farmacêuticos (Van Der Stocken *et al.*, 2019; Mitra, 2020).

Dentre suas funções, os manguezais desempenham um papel fundamental no controle de processos erosivos ao longo das zonas costeiras. Eles funcionam como uma barreira protetora contra a energia dos ventos e das ondas, ajudando a preservar a faixa litorânea. Essas florestas têm frequentemente sido usadas como indicador nas mudanças na linha costeira, devido à rápida resposta de suas espécies vegetais as mudanças do ambiente. Sua estrutura e distribuição estão correlacionadas com as mudanças no regime de marés, salinidade, condições climáticas e de precipitação, bem como os possíveis efeitos induzidos pelas atividades humanas (Almeida; Soares; Kampel, 2008; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2016). Além de suas funções ecológicas, os manguezais também oferecem oportunidades para atividades recreativas e culturais diversas. (Duke, 2014; Kelleway *et al.*, 2017; Pham *et al.*, 2019).

Além disso, esses ecossistemas têm uma capacidade de armazenamento específica de carbono, contribuindo para a redução da concentração de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera. A vegetação de mangue denota uma alta capacidade de sequestro e armazenamento de grandes quantidades de carbono em seus solos, sendo registrado um valor médio de $222 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Jennerjahn, 2020; Mackenzie *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020). Todo esse processo, em conjunto com a biomassa, contribui de forma significativa para a regulação de emissão dos GEEs (média = $82,7 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, faixa = $13\text{--}2.160 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$; [Xiong *et al.*, 2019]). Estima-se que os manguezais armazenam em média $1.023 \text{ mg Cha}^{-1}$, o que representa um valor

significativo em termos de mitigação das mudanças climáticas (Zeng, 2021). Assim, a floresta de mangue é altamente eficaz na regulação do sequestro de carbono, tornando-o uma importante prestação de serviço ambiental de regulação (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2005).

Embora as florestas de mangue tenham um importante papel na absorção do CO₂ nas faixas entre terra-mar, os efeitos das mudanças climáticas têm tornado tais ecossistemas vulneráveis a sobrevivência (Alongui, 2012; Saintilan, 2020). As alterações do uso e ocupação do solo, aumento do nível do mar e eventuais erosões costeiras, são alguns dos maiores impactos que prejudicam as formações de mangue em escala global, o que reduz a absorção de CO₂ e favorece o aumento dos Gases do Efeito Estufa (GEEs) na atmosfera. Dados sobre a redução de florestas de mangue em cinco regiões do planeta (sudeste e sul da Ásia, Caribe, oeste de Mianmar e norte do Brasil), tem apontado significativos distúrbios quando se trata da mitigação das mudanças climáticas (Adame *et al.*, 2021).

Para ambientes costeiros, o termo "Carbono Azul" (*Blue Carbon* [BC]) surgiu após o primeiro orçamento global de armazenamento de Carbono em solos de pântanos salgados e manguezais (Duarte *et al.*, 2005). Os ambientes costeiros que são designados como "Ecossistemas de carbono azul" (*Blue carbon ecosystems* [BCE]), se referem a habitats costeiros que contribuem significativamente para a redução de carbono devido à sua intensa absorção de GEEs, permanência a longo prazo do carbono removido da atmosfera e grandes estoques de carbono acumulados (Nellemann *et al.*, 2009). Os BCEs são altamente produtivas e estão entre os ecossistemas mais valiosos da Terra, dando suporte a diversas comunidades marinhas e costeiras em vários níveis tróficos (Donato *et al.*, 2011). Eles têm a capacidade de produzir, capturar e preservar carbono e resistir à decomposição.

No entanto, cerca de 50% da extensão global do BCE foi perdida em todo o mundo, levando a emissões de gases de efeito estufa e aumentando o desafio da mitigação das mudanças climáticas (Barbie *et al.*, 2011). O interesse em BC propõe a conservação e restauração de ecossistemas costeiros como estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, enquanto também fornece benefícios como proteção costeira e melhoria na pesca. Esse interesse atraiu a atenção de diversos grupos, incluindo organizações de conservação, setor privado, governo e órgãos intergovernamentais, que têm impulsionado a pesquisa e ações de gestão (Pendleton *et al.*, 2012; Duarte *et al.*, 2013; Friess *et al.*, 2020; Macreadie *et al.*, 2021).

Nesse contexto, cresce globalmente a dedicação em estudos para identificação espacial dos remanescentes de florestas de mangue (Spalding; Kainuma; Collins, 2010; Kuenzer *et al.*,

2011; Andrade *et al.*, 2013; Hamilton; Casey, 2016; Simard, 2019; Souza, 2022). As geotecnologias e os sistemas de informações geográficos (SIG) desempenham um papel crucial no monitoramento da cobertura vegetal e dos gases de efeito estufa, sendo usadas para evidenciar a capacidade fotossintética, desde a sua cobertura vegetal até a saúde e potencial energético dos indivíduos (Andrade *et al.*, 2013). A utilização de metodologias capazes de quantificar o estoque de CO₂ em ambientes florestais vem ganhando destaque. Como a mensuração de carbono em florestas nativas tropicais e plantadas, abrangendo uma ampla gama de análises, contribui com uma revisão sistemática do uso e cobertura da terra no carbono azul de mangue (Sasmito *et al.*, 2019). Esse monitoramento é essencial para a gestão sustentável dos recursos naturais e para o planejamento adequado das ações de mitigação das mudanças climáticas.

Existem diversos indicadores que podem ser utilizados para compreender o comportamento da vegetação e a sua influência e relevância no meio ambiente. Os Índices de Vegetação foram desenvolvidos com o objetivo de melhor explicar as propriedades espectrais da vegetação, utilizando principalmente as regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices estão relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal e podem caracterizar parâmetros como o índice de área foliar e a biomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade de determinada cultura, além de minimizarem efeitos da iluminação da cena e declividade da superfície que influenciam na reflectância da vegetação. Os índices têm por objetivo realçar o contraste espectral entre a vegetação e o solo e os dados podem ser obtidos através de imagens de satélite e por equipamentos próximos ao alvo de interesse, como o espectrorradiômetro (Santos, 2015; Ponzoni, Shimabukuro, 2010). Podemos citar os seguintes índices mais utilizados: (i) *Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (Rouse *et al.*, 1973), que é considerado um ‘indicador fenológico’ da vegetação verde; (ii) *Photochemical Reflectance Index* - o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) (Gamon; Peñuelas; Field, 1992), que mede a eficiência do uso da luz pelas plantas, e o (iii) *CO₂flux Index* - Índice CO₂flux, que indica o fluxo de carbono sequestrado na atmosfera (Rahman *et al.*, 2000).

Esses indicadores podem fornecer informações valiosas para entender a dinâmica da vegetação em diferentes contextos e subsidiar suas implicações no ecossistema. Por exemplo, Almeida e Rocha (2018) utilizaram a aplicação das geotecnologias para avaliar as correlações entre índices espectrais (IVDN, PRI e CO₂ Flux), estoque e sequestro de carbono e o uso da terra em uma área de proteção ambiental no município de Rio Branco (Acre). Utilizando-se de

imagens do satélite Sentinel 2-A e informações de uso e ocupação do solo, os resultados demonstraram que a maior concentração de carbono estava em áreas de floresta de densidade elevada, ressaltando a importância da preservação de áreas de proteção. O uso de sensoriamento remoto e SIG com índices de vegetação se mostrou uma ferramenta eficiente para avaliar a dinâmica de uso da terra e seus efeitos no estoque e fluxo de carbono, dados que corroboram para a conservação e desenvolvimento sustentável na área estudada e promovem metodologias para aplicação em outras áreas de proteção ambiental (Giri *et al.*, 2011; Thakur *et al.*, 2020).

As Unidades de Conservação (UCs) surgem como ferramentas cruciais de monitoramento ambiental, desempenhando um papel fundamental na preservação da biodiversidade e na promoção da sustentabilidade. Através de um arcabouço legal robusto, as UCs oferecem estratégias formais para a gestão e proteção de ecossistemas, possibilitando o monitoramento contínuo das dinâmicas ambientais. Como ressaltado por Souza *et al.* (2019), a criação e eficácia de implementação de UCs proporcionam um ambiente controlado para a observação sistemática de mudanças climáticas, perda de habitat e impactos antropogênicos. Essas áreas protegidas não apenas conservam a diversidade biológica, mas também funcionam como laboratórios naturais, permitindo a coleta de dados que aumentam significativamente para estudos científicos e estratégias de conservação. Assim, as UCs representam um instrumento valioso para o monitoramento ambiental, promovendo uma abordagem holística na busca pela harmonia entre a preservação da natureza e o desenvolvimento sustentável.

O estuário do Rio Mamanguape (ERM), mais precisamente a Área de Relevante Interesse Ecológico Manguezais da Foz Do Rio Mamanguape – PB (ARIE), foi escolhido para realização desse trabalho pelo fato de utilizar-se das geotecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, oferece uma abordagem inovadora e prática para a análise e monitoramento de áreas costeiras. Essas ferramentas fornecem dados importantes e em tempo real, permitindo uma compreensão aprofundada das dinâmicas ambientais, mudanças climáticas e suas interações com meio ambiente. Além disso, a aplicação dessas tecnologias possibilita a identificação de áreas prioritárias para conservação, gestão eficiente dos recursos naturais e a implementação de estratégias sustentáveis de preservação.

O presente trabalho tem a seguinte pergunta norteadora: Como as diferentes densidades da floresta de mangue na ARIE do estuário do Rio Mamanguape-PB contribuem para a absorção e armazenamento do carbono atmosférico? Dentre o contexto apresentado, o objetivo geral deste trabalho foi investigar o papel das diferentes densidades da floresta de mangue na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do estuário Rio Mamanguape/PB por meio do

mapeamento, estimativa de densidade, análise da eficiência fotossintética e estimativa de fluxo de CO₂ das diferentes densidades da cobertura florestal de mangue, visando contribuir para o entendimento da dinâmica ambiental e apoiar a conservação, monitoramento e manejo sustentável desse ecossistema.

Para tanto, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- 1) Realizar mapeamento dos dosséis de floresta de mangue da ARIE do estuário Rio Mamanguape/PB;
- 2) Estimar e classificar a densidade da floresta de mangue da ARIE do estuário Rio Mamanguape/PB;
- 3) Estimar a eficiência fotossintética da floresta de mangue da ARIE do estuário Rio Mamanguape/PB;
- 4) Realizar a estimativa de fluxo de CO₂ das diferentes densidades da cobertura florestal do mangue da ARIE do estuário Rio Mamanguape/PB;

2 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo está estruturado em um único capítulo. O capítulo tem como o objetivo geral investigar o papel das diferentes densidades da floresta de mangue na Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do estuário Rio Mamanguape/PB por meio do mapeamento, estimativa de densidade, análise da eficiência fotossintética e estimativa de fluxo de CO₂ das diferentes densidades da cobertura florestal de mangue, visando contribuir para o entendimento da dinâmica ambiental e apoiar a conservação, monitoramento e manejo sustentável desse ecossistema. Assim, circundando as discussões acerca da importância da conservação dos manguezais para a gestão costeira e o enfrentamento das mudanças climáticas, a partir da análise de estimativa de carbono, que, na atualidade, se caracteriza como um dos serviços ecossistêmicos em maior evidência, especialmente em países em desenvolvimento.

Intitula-se de “**ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ EM DIFERENTES DENSIDADES DA FLORESTA DE MANGUE NO ESTUÁRIO RIO MAMANGUAPE – PB, BRASIL**” e com pretensão de submissão a revista *Environmental Earth Sciences* (Fator de Impacto= 3,51).

3 CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DO FLUXO DE CO₂ EM DIFERENTES DENSIDADES DA FLORESTA DE MANGUE NO ESTUÁRIO RIO MAMANGUAPE – PB, BRASIL

Andressa Tamires Araújo Gomes¹ André Luiz Machado Pessanha¹ Janaina Barbosa da Silva²

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba. Avenida das Baraúnas, 351, Bairro Universitário, 58429-500, Campus I, Campina Grande, PB, Brasil. ² Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, 58429-900, Campus I, Campina Grande, PB, Brasil.

3.1 Introdução

O avanço das geotecnologias exerce um papel fundamental para monitoramento tanto da cobertura vegetal como para os gases de efeito estufa (GEEs) (Andrade *et al.*, 2013; Souza, 2022). Várias técnicas têm sido extensivamente empregadas para monitorar e estimar o estoque de CO₂ em ambientes florestais de forma significativa nos últimos anos, devido à sua cobertura espaço-temporal ampla, relação custo-benefício e disponibilidade imediata. Dentre elas podemos citar o uso de índices de vegetação (Rahman *et al.*, 2001; Baptista, 2003; Alongui, 2012; Santos, 2017; Souza, 2022). Para avançar na conservação desses ecossistemas, tanto em nível local e regional quanto global, a análise de índices de vegetação é uma ferramenta que contribui para avaliação do carbono atmosférico (Almeida *et al.* 2018). Por sua relevância, estudos com essa finalidade são cada vez mais necessários, especialmente em áreas de floresta de mangue no Brasil, que ainda carecem de pesquisas dessa natureza.

Os manguezais exibem variações na densidade da floresta, relacionadas a fatores como o regime de marés, disponibilidade de nutrientes e perturbações naturais e humanas. Essas variações na densidade podem influenciar na capacidade de sequestro e armazenamento de carbono (Baptista, 2003; Pereira *et al.* 2020). Áreas com densidades mais elevadas de árvores de mangue tendem a armazenar mais carbono, devido à maior biomassa vegetal (Silva; Baptista, 2015). Contudo, as mudanças climáticas estão impactando a extensão, a estrutura e a composição das espécies de mangue, com alterações na distribuição de espécies relacionadas a fatores como temperatura e mudança precipitação e dinâmica de espécies (Ghosh *et al.*, 2017). Estudos anteriores, como o de Alongi *et al.* (2008), destacam-se como as mudanças climáticas afetam a produtividade e o armazenamento de carbono nos manguezais. Outros estudos apontam que as mudanças climáticas foram associadas a uma redução de 10 a 15% na extensão dos manguezais, resultando na redução dos benefícios ecossistêmicos que esses ambientes proporcionam (Alongi, 2008; Gilman *et al.*, 2008). Portanto, a estimativa da densidade da

floresta de mangue e o fluxo de CO₂ podem auxiliar na conservação e a gestão desses ecossistemas, fornecendo informações avançadas para estratégias de restauração, conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas em nível local e global.

Entre a ampla oferta de serviços ecossistêmicos providos pelos manguezais destaca-se os serviços de Regulação/Manutenção (Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos: CICES, 2013; 2018) que ofertam a manutenção e regulação do carbono, favorecidos pela elevada produtividade da vegetação e pelas características do solo, em saturação gradual de água salgada, contribui para zonas anóxicas e de alta salinidade (Mahmoudi *et al.*, 2022). Assim, é limitada a degradação da matéria orgânica na forma biológica, favorecendo condições de uma maior durabilidade em seus estoques de CO₂ no solo. Por consequente, sua capacidade de armazenamento é quase 10 vezes a mais que a quantidade de carbono encontrada em florestas secas, contribuindo significativamente para a mitigação das alterações climáticas (Howard *et al.*, 2017; Kauffman *et al.*, 2018a; Alongi, 2020).

Na última década, tem-se destacado a proteção global dos ecossistemas costeiros com vegetação no sequestro de carbono, conhecida como "Carbono Azul" (Macreadie *et al.*, 2021). Dentre esses ecossistemas, estão incluídos os manguezais, pradarias de ervas marinhas e pântanos de maré, e que são reconhecidos como "Ecossistemas de Carbono Azul" (*Blue Carbon Ecosystems* [BCE]). Esses ecossistemas tem a capacidade em absorver gases de efeito estufa (GEE) e manter grandes estoques de carbono por longos períodos de tempo (Nellemann *et al.*, 2009; Bulmer, 2020). Em contrapartida, cerca de 50% da extensão global de BCE foi perdida, o que aumentou o desafio da mitigação das mudanças climáticas (Friess *et al.*, 2020). O interesse em BC atraiu diversos grupos, incluindo organizações de conservação, setor privado, governo e órgãos intergovernamentais, que têm impulsionado a pesquisa e ações de gestão (Barbie *et al.*, 2011; Pendleton *et al.*, 2012; Duarte *et al.*, 2013; Macreadie *et al.*, 2021).

As estimativas de estoque de carbono em ecossistemas de manguezal no Brasil são escassas, elucidado pela pouca disponibilidade de estudos. Um dos principais motivos que torna esta pesquisa relevante é que, apesar da presença significativa de manguezais ao longo da costa, o Brasil ainda não possui levantamentos abrangentes de estoques de carbono que abarquem uma diversidade associada às diferenças climáticas e tipos de zonas costeiras onde os manguezais estão localizados. Essa lacuna também representa um obstáculo para a inclusão de zonas úmidas nos mercados de créditos de carbono, tanto a nível nacional quanto internacional (Rovai *et al.*, 2022, Neto; Silva, 2023).

Atualmente, existem várias formas de considerar os estoques de carbono, mas nem todos os projetos levam em conta o valor adicional da concretização do desenvolvimento sustentável. À luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), há uma necessidade de discutir e ampliar os debates acerca do cumprimento de legislação sobre a conservação do ecossistema manguezal e de suas áreas de vegetação associadas (Gomes; Ferreira, 2018), em especial as ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), ODS 14 (Vida na água), e ODS 15 (Vida terrestre).

O manuscrito tem como objetivo investigar o papel da floresta de mangue da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape -PB, e estimar o potencial de fixação de carbono em diferentes densidades da floresta de mangue. Por meio do mapeamento, classificação da densidade, estimativa do fluxo de CO₂, espera-se que o uso do sensoriamento remoto para monitoramento ambiental seja uma metodologia usual para a área de estudo, uma vez que são confirmadas áreas mais densas de vegetação de mangue e, principalmente, as circunstâncias que se encontram as bordas da floresta de mangue. Conseqüentemente esses resultados serão importantes para fornecer informações para a conservação e gestão sustentável do manguezal e seus benefícios para o ecossistema e a sociedade local.

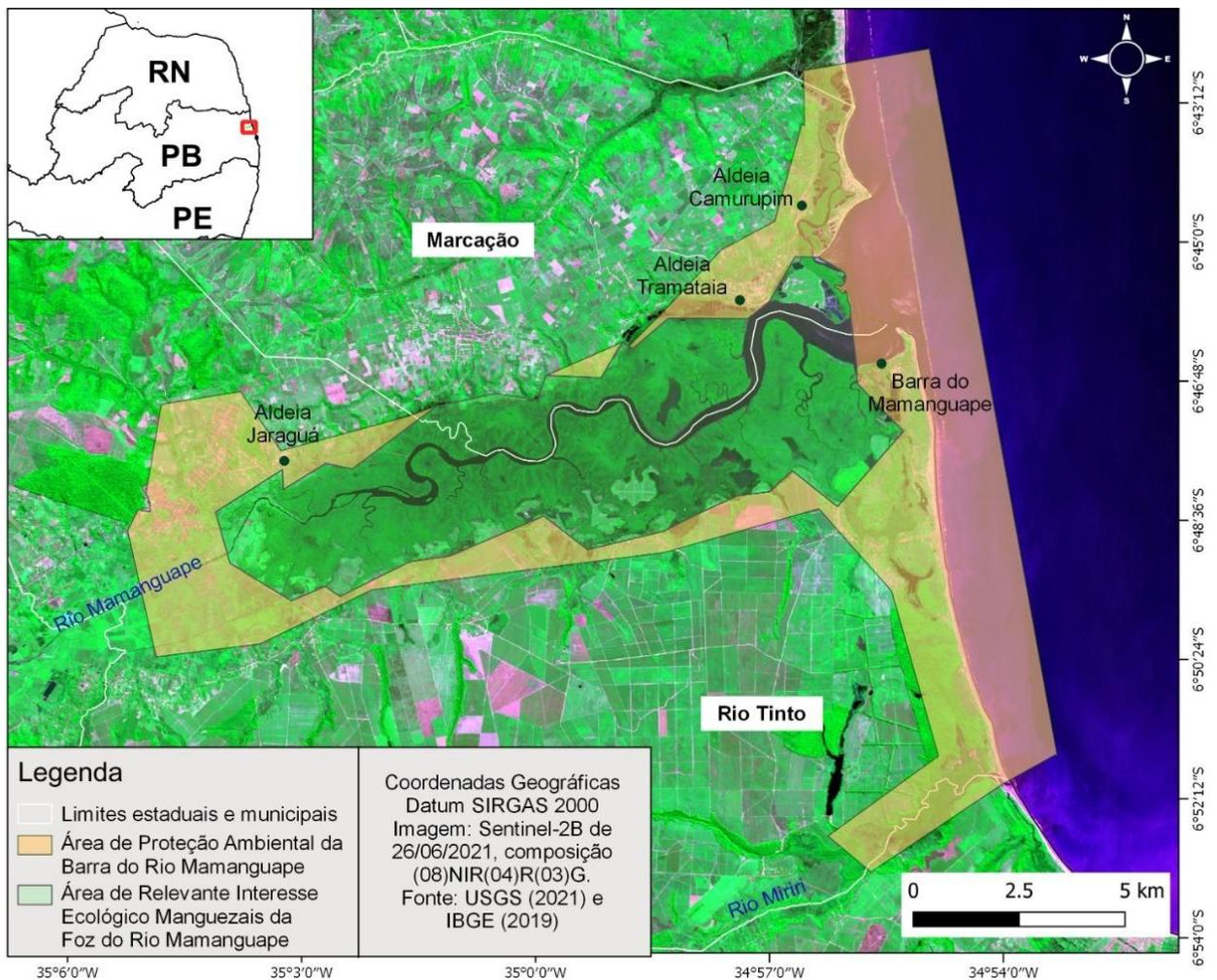
3.2 Caracterização da área de estudo

A área sob análise está localizada no Litoral Norte do estado da Paraíba, mais precisamente na ARIE do Rio Mamanguape: a vegetação de mangue presente. Com o Rio Mamanguape ao norte e o Rio Miriri, ao sul. Especificamente na porção da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape, engloba cinco municípios: Baía da Traição (86,43%), Capim (4,12%), Mamanguape (18,20%), Marcação (100%), e Rio Tinto (60,86%). Essas áreas abrigam uma população estimada em 94,3 mil pessoas, de acordo com dados do (IBGE, 2021).

O Estuário do Rio Mamanguape (ERM) (Figura 1) possui cerca de 24 km de extensão a partir da costa até a sede do município de Rio Tinto (ICMBIO e MMA, 2014). Considerado um estuário tropical, com o clima da região tipo “AS” classificado por Köppen e Geiger, apresenta clima tropical úmido e seco (Aw e Am), precipitação anual máxima observada de 1400mm a 2000mm, reduzindo à medida em que se distancia do litoral (Santos; Araújo; Marcelino, 2015). Com os períodos de chuva entre os meses de março e julho e de seca entre os meses de agosto e janeiro, temperaturas médias de aproximadamente 24-26 °C (Alvares *et al.*, 2014; Francisco *et al.*, 2015, Silva-Neto; Silva, 2022).

Essa região é caracterizada por sua significativa biodiversidade, devido à presença de ecossistemas diversos, incluindo manguezais, restingas e áreas remanescentes da Mata Atlântica. Além disso, a região é rica em recursos geológicos, apresentando praias, dunas e recifes. O local também abriga comunidades tradicionais, compostas por descendentes do povo Potiguara, bem como por indivíduos não-indígenas resultantes da miscigenação de índios, africanos e europeus (Costa *et al.*, 2020).

Figura 1: Mapa de localização do Estuário do Rio Mamanguape, PB/Brasil, com delimitações da ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico) e da APA (Área de Proteção Ambiental).



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Desde o ano de 1985, por meio do Decreto nº 91.890/85, o ERM delimita-se como a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape com 57,2 km² destinada a proteção da floresta de mangue, assim, situado em uma unidade de conservação de uso sustentável (Categoria V da IUCN), Área de Proteção Ambiental (APA) da Barra do Rio Mamanguape (Decreto nº 924, 1993) com 146,4 km², o que sobrepõe a ARIE e

integrando outras paisagens marinhas e terrestres (ICMBIO, 2018), com plano de manejo instaurado e inserido no projeto “Manguezais do Brasil” (ICMBIO e MMA, 2014). Essas áreas de conservação protegem cerca de 60 km² de manguezais, configurando a maior reserva de manguezais preservados no estado da Paraíba (ICMBIO, 2018).

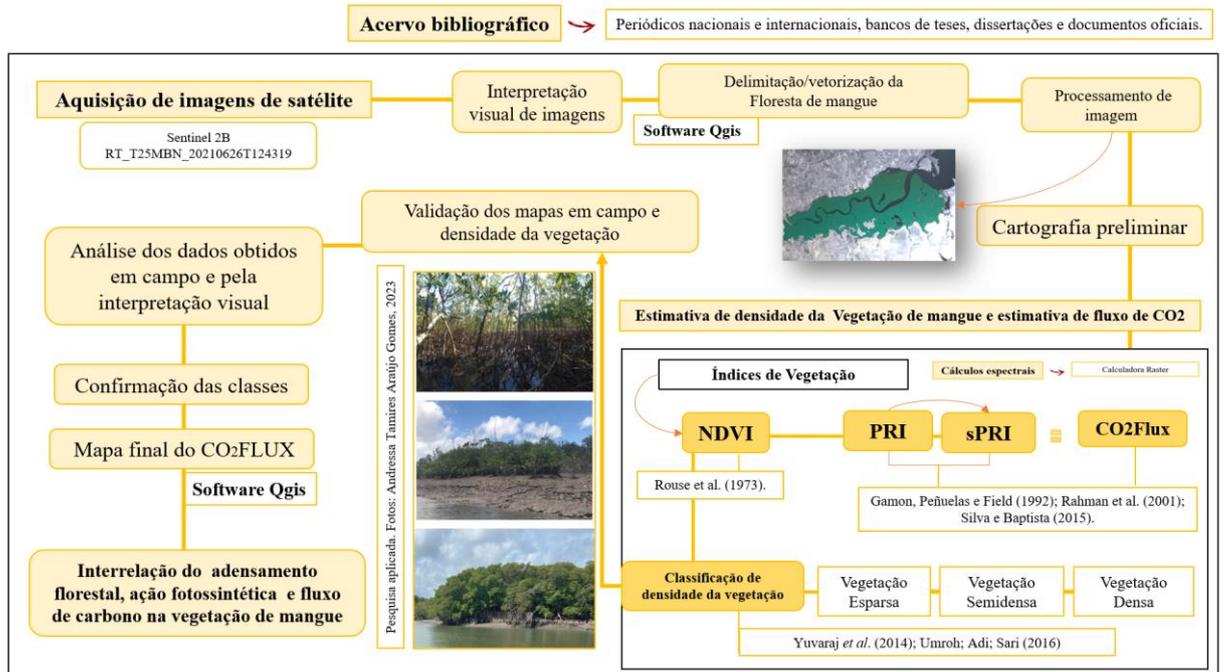
Nota-se a relevância desse estuário com o principal encargo de conservação de seus múltiplos ecossistemas costeiros e proteção da biodiversidade. O que lhe concerne uma fauna aquática importante, com espécies consideradas ameaçadas de extinção, tais como o peixe-boi marinho (*Trichechus manatus* Linnaeus, 1978), o cavalo-marinho (*Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933), a tartaruga-verde (*Chelonia mydas* Lineu, 1758), a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata* Lineu, 1766) e o mero (*Epinephelus itajara* Lichtenstein, 1822) (ICMbio, 2018) (Figura 2).

Os manguezais resguardados pela APA e ARIE do Rio Mamanguape juntamente com o rio Miriri, compõem uma diversidade de espécies como *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. Ex Moldenke, *Avicennia germinans* (L.)Stearne, *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn, além de outros gêneros associados como *Conocarpus erectus* (L.) C. F. Gaertn (ICMbio, 2018), como também espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas, que integram uma diversidade registrada para o estado da Paraíba e para o Brasil (Bernini; Rezende, 2004; Silva; Menezes; Berger; Mehlig, 2008).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O Fluxograma da Figura 2 apresenta os procedimentos metodológicos necessários à execução desse estudo. Seguidos com as etapas da metodologia aplicada a pesquisa.

Figura 2: Fluxograma de procedimentos metodológicos e técnicas empregadas no processamento dos dados digitais



Fonte: Elaborado pela autora, acervo da pesquisa 2023.

4.1 Aquisição e caracterização de imagem/cena de satélite

A cena para esse estudo foi adquirida de forma gratuita através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (do inglês, *United States Geological Survey* –USGS, 2018). A imagem escolhida possui nomeação de RT_T25MBN_20210626T124319, data de 26/06/2021 (imagem com a menor cobertura de nuvens para a área de estudo). A imagem foi capturada pelo Satélite Sentinel-2B (*MultiSpectral Instrument Sensor* - MSI). A escolha de imagens desse Satélite se deve as suas características de dados fornecidas, principalmente por suas resoluções.

O Satélite Sentinel possui resolução temporal que adquire imagens a cada cinco (5) dias no período de um mês. Dessa forma, a quantidade de imagens é uma vantagem devido a quantidade de imagens adquiridas em um período de 30 dias. Em termos de resolução espacial, o pixel para Satélite Sentinel é de 10m de altura. O que determina a resolução espectral, informações da área de estudo de forma mais aproximada (EUROPEAN SPACE AGENCY [ESA], 2012).

4.2 Processamento Digital de Imagem

Para o processamento digital da imagem, foi necessário converter a Reflectância no Topo da Atmosfera (*Top Of Atmosphere* – TOA) para a Reflectância na Base da Atmosfera (*Bottom of Atmosphere Reflectance* ou BOA). Realizado para corrigir distorções do sensor e influências dos elementos atmosféricos, através dos coeficientes de reflectância redimensionados presentes no arquivo de metadados MTL e de acordo com a seguinte equação (USGS, 2018) (Equação 1).

As bandas espectrais foram processadas para calcular os índices de vegetação, incluindo Azul (*Blue*), Verde (*Green*), Vermelho (*Red*) e Infravermelho Próximo (*NIR*), utilizando o procedimento *Dark-Object Subtraction* (DOS1) da ferramenta "*Preprocessing*". Essa conversão foi realizada por meio do *plugin Semi-Automatic Classification Plugin - SCP* do *software Quantum Geographic Information System* (QGIS) 3.30.1 (Congedo, 2016; Rezende; Marques; Rosa, 2017).

(Equação 1)

$$\rho^{\lambda'} = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}$$

$\rho^{\lambda'}$ = Refletância planetária TOA, sem correção do ângulo solar ($W/(m^2 sr \cdot 1 \mu m^{-1})$);

M_{ρ} = Fator de redimensionamento multiplicador específico de banda a partir dos metadados *Reflectância_Mult_Band_*, em que corresponde ao número da banda;

A_{ρ} = Fator de reescalonamento aditivo específico de banda a partir dos metadados da *Reflectância_Add_Band_*, em que ρ corresponde ao número da banda;

Q_{cal} = Valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados (ND)

O processo de transformação de Números Digitais (ND) em *Top Of Atmosphere* (TOA) (Equação 2), em radiância espectral, foi realizado de acordo com os metadados da imagem e a seguinte equação (USGS, 2018) (Equação 2). Procedeu-se aos Índices de Vegetação (IV) para estimar a densidade da floresta e a atividade fotossintética ativa, e partir desses dados foi possível estimar o CO₂ flux, utilizado-se da calculadora *raster* no *software* QGIS.

(Equação 2)

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

L_{λ} = Radiância espectral TOA ($W/(m^2 sr \cdot 1 \mu m^{-1})$);

M_L = Fator de redimensionamento multiplicativo específico de banda a partir dos metadados da *Radiância_Mult_Banda_L*, em que L corresponde ao número da banda;

A_L = Fator de reescalonamento multiplicativo específico de banda a partir dos metadados *Radiância_Mult_Band_L*, em que L corresponde ao número da banda;

Q_{cal} = Valores de pixel de produto padrão quantificados e calibrados (ND).

Apenas a delimitação referente a vegetação de mangue presente na ARIE do estuário do Rio Mamanguape foi utilizada neste estudo (área total de 4.255,2 ha). Foi realizado a vetorização manual o que envolve o acompanhamento de cada recurso linear do *raster* usando o cursor e a inserção separada de vértices que compõem o objeto (INUI, 2006). Este método manual oferece uma vantagem, pois a vetorização é mais seletiva, registrando apenas os vértices principais do objeto de interesse. Isso resulta em um contorno mais preciso e em um arquivo com menor volume. Em seguida a imagem foi convertida para o sistema de projeção *Universal Transversa Mercator* (UTM) – UTM zona 25 Sul, Datum Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Essas etapas foram realizadas com o *software Qgis 3.10*.

4.3 Aplicação dos Índices de Vegetação e densidade

4.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN (*Normalized Difference Vegetation Index - IVDN*) e classificação de densidade de floresta

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foi proposto por Rouse *et al.* (1973), com base nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Para isso, foi utilizada a calculadora *raster* como ferramenta auxiliar. Esse Índice é útil para estimar a densidade e a vitalidade da vegetação em áreas terrestres.

Assim, o IVDN equivale a razão entre as refletâncias (R_{λ}) da banda do espectro visível na faixa do vermelho (*Red*) e da banda do espectro próximo do infravermelho (*NIR*), com base na Equação 03.

(Equação 3)

$$IVDN = \frac{(R_{RED} - R_{NIR})}{(R_{RED} + R_{NIR})}$$

R_{NIR} = Valor de reflectância da banda 5 do sensor OLI em μm ;

R_{RED} = Valor de reflectância da banda 4 do sensor OLI em μm .

Sua escala de valores varia de -1 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam alta densidade vegetacional, e -1 nenhuma densidade vegetacional, geralmente associada a água (Umroh, Adi e Sari, 2016). Os valores entre 0,089 a 0,527 correspondem a solo exposto/área urbana e locais que não apresentam vegetação, por sua vez, com nenhuma atividade fotossintética ativa valores entre 0,627 e 1, correspondem a vegetação com atividade fotossintética ativa (Bandeira e Cruz, 2021). Contudo, cada ambiente pode apresentar valores maiores e menores para as classes, uma que cada ambiente é diferente em suas constituições, solo, arranjo vegetacional e etc.

Com base nessa informação, foram adotados valores de IVDN que refletem a densidade do dossel, e classificados conforme sugerido por Yuvaraj *et al.* (2014). Também consideradas as classes de cobertura vegetal e uso do solo indicadas por Bandeira e Cruz (2021), que classificam valores de atividade fotossintética a partir de 0,5 indicados no Índice.

Quadro 01 – Base de classes atribuídas ao IVDN, estudos de Bandeira e Cruz (2021). Área demarcada de verde indicam os valores utilizados para a classificação da vegetação.

INTERVALOS DO IVDN	CLASSES
-0,157 a 0,089	Corpos hídricos
0,089 a 0,527	Solo exposto/Área urbana
0,527 a 0,627	Atividade fotossintética baixa
0,627 a 0,715	Atividade fotossintética Semidensabaixa
0,715 a 0,785	Atividade fotossintética média
0,785 a 0,838	Atividade fotossintética Semidensaalta
0,838 a 1,000	Atividade fotossintética alta

Fonte: Adaptado Bandeira e Cruz (2021).

Neste estudo foram considerados e classificados valores a partir de 0,06 a 0,30 para vegetação com baixa atividade fotossintética, assim denominado mangue de vegetação Esparsa, entre 0,31 e 0,60 mangue de vegetação Semidensa, com ação fotossintética média e mangue de vegetação Densa, com ação fotossintética alta, nos valores de 0,61 – 0,91. O *software Qgis 3.10* possibilita nomearmos e classificarmos de acordo com valores preestabelecidos na própria aplicação dos índices, assim foram escolhidos, através de estudo prévios, a classificação supracitada, distribuídas na tabela 1.

Tabela 1: Valores de IVDN distribuídos para as classes de vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape, PB (2021).

IVDN	Classes	Atividade fotossintética
< 0,06	Água e Solo exposto	Nenhuma
0,06 - 0,30	Vegetação Esparsa	Baixa
0,31 - 0,60	Vegetação Semidensa	Média
0,61 >	Vegetação Densa	Alta

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Yuvaraj *et al.* (2014) e Umroh; Adi e Sari (2016) e Bandeira e Cruz (2021).

No mapa, a utilização de uma paleta de cores para a segmentação revelou que os setores de maior densidade são representados por tons de verde escuro, enquanto os bosques com densidade reduzidos aparecem em tons de verde claro de forma gradativa (Figura 5).

4.3.2 Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) e Índice de Reflectância Fotoquímica Melhorado (sPRI)

Posteriormente, foi realizado o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) utilizando a razão entre as reflectâncias das bandas Azul e Verde, com base na prescrição proposta por Gamon, Peñuelas e Field (1992) (Equação 4). Esse Índice é utilizado para estimar a capacidade de utilização da energia luminosa pelas plantas e, portanto, é considerado um importante indicador para modelagem da capacidade de absorção de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. O PRI varia de -1 a 1, onde valores negativos indicam alta atividade fotossintética da vegetação (Gamon; Peñuelas; Field, 1992; Rahman *et al.*, 2001; Gamon *et al.*, 2015).

(Equação 4)

$$PRI = \frac{(R_{BLUE} - R_{GREEN})}{(R_{BLUE} + R_{GREEN})}$$

R_{BLUE} = Valor de reflectância da banda 2 do sensor OLI em μm ;

R_{GREEN} = Valor de reflectância da banda 3 do sensor OLI em μm

Após a estimativa do índice PRI, foi necessário ajustar os valores negativos para positivos por meio do índice sPRI (Índice de Reflectância Fotoquímica Melhorado), que varia de 0 a 1 e auxilia na normalização dos dados de pigmento da vegetação das plantas (“cor verdejante”). Quanto mais próximo de 1, maior a atividade fotossintética do bosque. Para calcular o sPRI, utilizou-se a Equação 5, que consiste na razão entre o PRI somado com 1, dividido por 2 (Rahman *et al.*, 2001; Silva; Baptista, 2015).

(Equação 5)

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2}$$

4.3.3 Índice de Vegetação de Fluxo de Carbono (CO_2 Flux)

O Índice de Vegetação de Fluxo de Carbono (CO_2 Flux) foi determinado utilizando a Equação 6 proposta por Rahman *et al.* (2001), que consiste no produto entre os índices sPRI e IVDN. Esse índice permite estimar a capacidade de absorção do fluxo de CO_2 atmosférico, sendo que valores acima de zero indicam áreas com maior capacidade de retenção do CO_2 . A atividade fotossintética é proporcional à absorção de CO_2 , e, portanto, quanto maior o valor do CO_2 flux, maior é o indicativo de absorção do CO_2 . Os valores mais altos de atividade fotossintética sugerem tendência crescente aos maiores valores do CO_2 flux (RAHMAN *et al.*, 2001; SILVA; BATISTA, 2015; SANTOS, 2017).

(Equação 6)

$$CO_2 \text{ flux} = sPRI * NDVI$$

Por fim, considerando que cada pixel da imagem Sentinel-2B tem a dimensão de 10x10m, optou-se pela utilização da Equação 7 para subsidiar a transformação dos valores de pixels em hectares (ha). Em que, o Valor Total de Pixels (VTP) contidos na área de estudo é calculado multiplicando-se o número de pixels pela resolução espacial do Sentinel-2B (100 metros quadrados por pixel) e dividindo-se o resultado por 10.000, que corresponde ao valor de 1 hectare. Portanto, a aprovação pode ser reescrita como:

(Equação 7)

$$\text{Área (ha)} = VTP * 100m^2 * (1ha/10.000m^2)$$

4.4 Classificação supervisionada no software QGIS

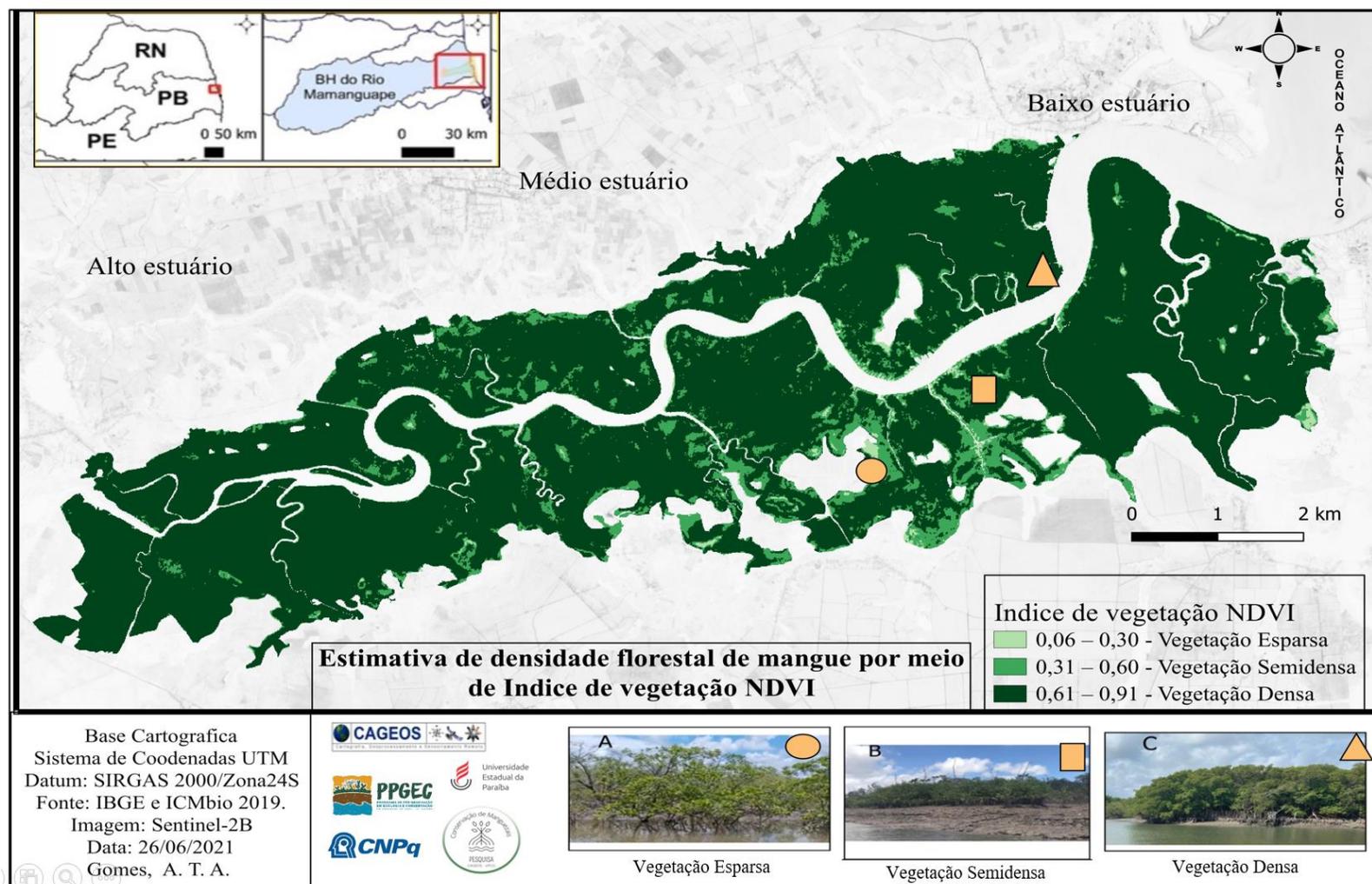
A ferramenta *Classification Sieve* disponível no plugin semiautomático de classificação SPC do Qgis foi utilizada para remover o ruído gerado na classificação supervisionada. Esta ferramenta tem como objetivo remover polígonos *raster* inferiores a um determinado limite de tamanho (em pixels) e substituí-los pelo valor do pixel do maior polígono vizinho (além de eliminar os fragmentos), unindo-os às características morfológicas predominantes (MORO *et al* 2022).

4.5 Validação da classificação em campo

A atividade de campo objetivou o reconhecimento da área de estudo, bem como demarcação de pontos amostrais e fotografias, os quais serviram de auxílio para a caracterização da área, validação do mapeamento e classificação de densidade do manguezal *in loco*, a utilização de uma paleta de cores para a segmentação da vegetação em três classes: Esparsa, Semidensa e Densa.

Em campo, foram utilizados instrumentos cartográficos (mapa de identificação digital e impresso) para facilitar a identificação dos locais. A validação dos mapas gerados no *software* QGIS foi realizado *in loco*, nos dias 31 de julho e 1 de agosto de 2023. Utilizou-se o mapa de IVDN com resultados de densidade florestal para validar a fitofisionomia da vegetação (Figura 3), comparando pontos com indicação de taxa maiores de ação fotossintética, pontos de média ação fotossintética e pontos com menores ação fotossintética.

Figura 3: Mapa utilizado para validação em campo de densidade florestal da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5 RESULTADOS

A partir do IVDN identificou-se a densidade da biomassa do dossel do mangue da ARIE do Rio Mamanguape-PB em três (3) classes de densidade de vegetação: vegetação densa (atividade fotossintética alta), vegetação semidensa (atividade fotossintética média) e vegetação esparsa (atividade fotossintética baixa) (Quadro 2, Figura 4).

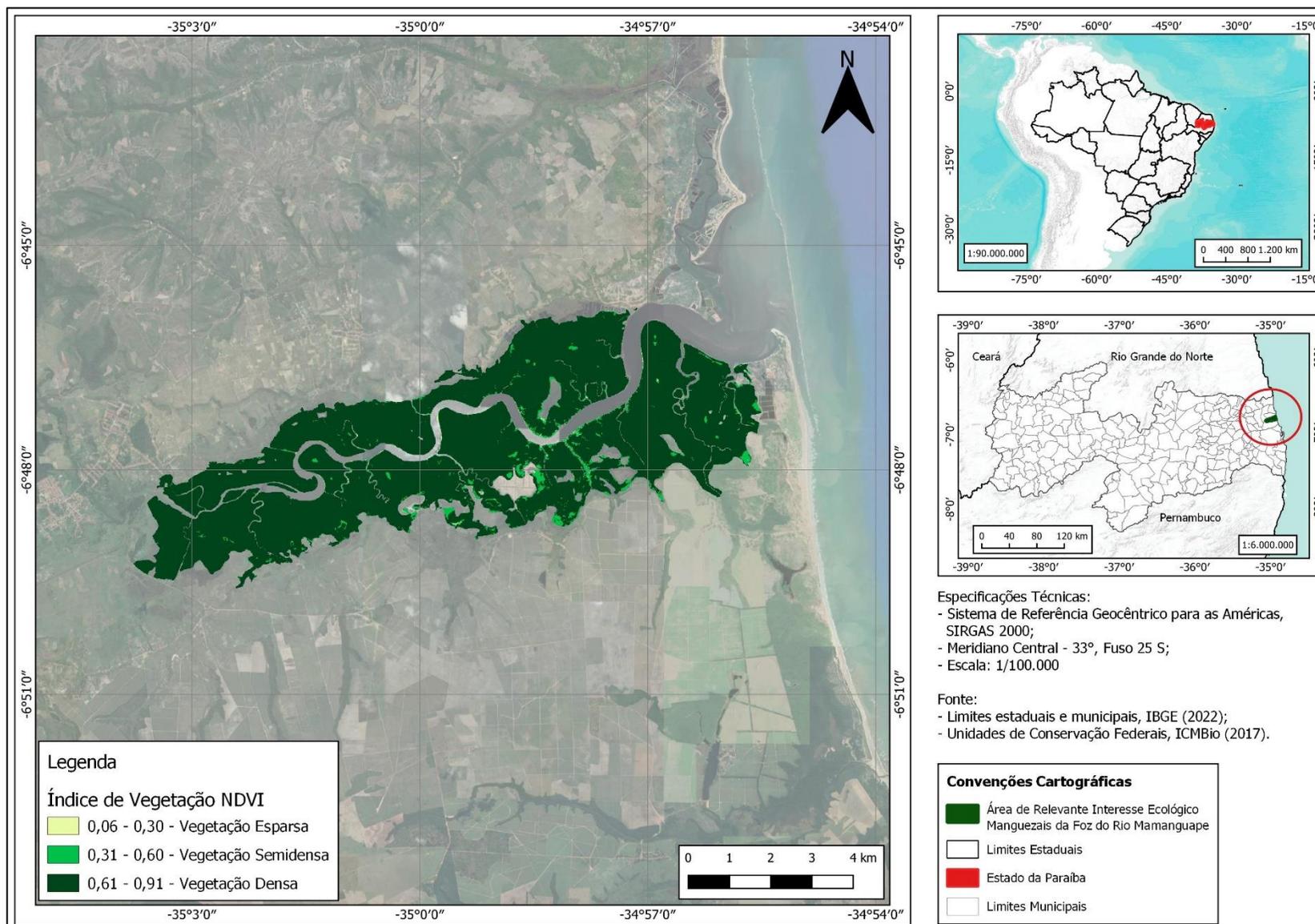
Quadro 2: Representação das classes de vegetação de mangue Esparsa, Semidensa e Densa, *in loco* para a floresta de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape.

Vegetação Esparsa	Vegetação Semidensa	Vegetação Densa
		

Fonte: Elaborado pela autora, acervo da pesquisa aplicada (2023).

A densidade da vegetação de mangue variou entre 0,06 e 0,91. A vegetação densa predominou na área estudada, correspondendo a 4.071,17 ha, equivalente a 95,7% do total da vegetação; a vegetação semidensa 158,7 ha (3,7%) e a vegetação esparsa 25,35 ha (0,6%) (Figura 5, Quadro 2 e Tabela 2). Tem-se que na Figura 5, a fitofisionomia Densa é representada por tom de verde escuro, a Semidensa verde claro e em amarelo a vegetação Esparsa.

Figura 4: Estimativa de densidade florestal das diferentes classes de densidades da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 2: Valores de IVDN distribuídos nas classes de vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape, PB (2021).

Índice	Classes	Intervalos	Área (ha)	Percentual (%)
IVDN	Vegetação Esparsa	0,06 – 0,30	25,35	0,6
	Vegetação Semidensa	0,31 – 0,60	158,7	3,7
	Vegetação Densa	0,61 – 0,91	4071,17	95,7
	Total:		4255,22	100

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os valores para o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) variaram entre -0,42 e 0,24. Embora apresentando variação na eficiência fotossintética entre os três dosséis classificados (Esparsa, Semidensa e Densa), com a predominância de valores negativos, estabelece que a cobertura vegetal se encontra em plena atividade fotossintética em relação ao ano de aplicação desse índice (2021).

A maior ocupação de eficiência na atividade fotossintética se deu entre os valores de -0,21 e -0,13, com cerca de 1.958,62 ha (46,0%), seguida dos valores de -0,42 e -0,20 e -0,14 e 0,24, com extensão de 1.439,62 ha (33,9%) e 856,98 ha (20,1%), respectivamente. Os valores próximos de 0,24 ocupou os trechos com maior presença de vegetação Esparsa, assim, com menor eficiência fotossintética, já os adjacentes a -0,42, foram correspondentes as áreas com bosques semidensos a densos, com indicativo de maior eficiência fotossintética.

Os resultados do índice PRI estão diretamente relacionados aos valores do sPRI, provenientes da normalização do primeiro, isto é, readequados para valores positivos. Os valores de sPRI ficaram entre 0,28 e 0,62. A maior ocupação ficou entre 0,28 a 0,43, área de 1958,62 ha (46,0%), seguido pela área de 1439,62ha (33,9%), nos intervalos de 0,43 - 0,62 e nos intervalos de 0,43 - 0,62, com uma área de 856,98 ha (20,1%) (Tabela 3).

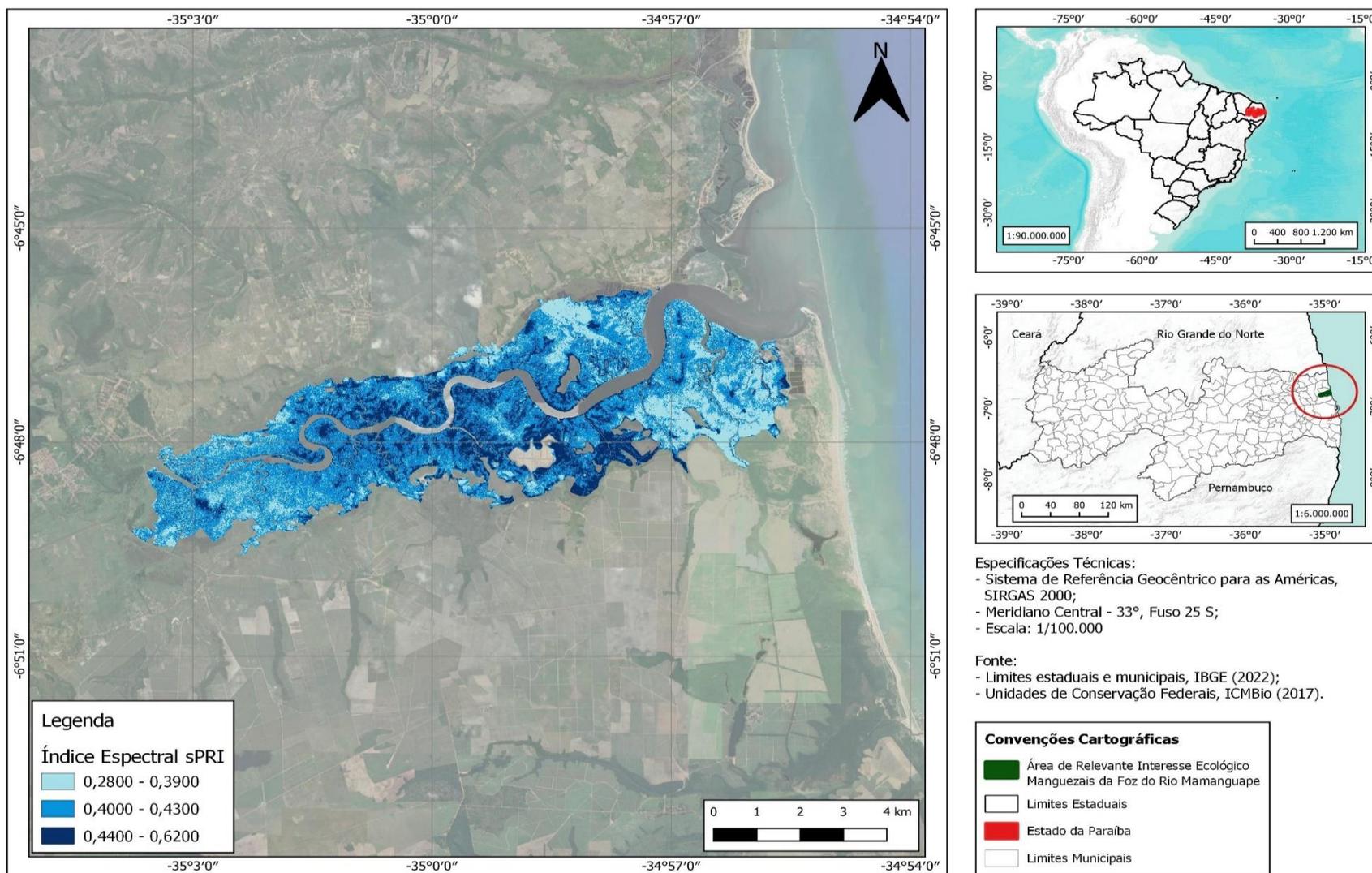
Tabela 3: Valores de PRI e reescalamto para valores de sPRI na vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape (2021).

Intervalos (PRI)	Intervalos (sPRI)	Área (ha)	(%)
-0,42 – -0,20	0,28 - 0,39	1.439,62	33,9
-0,21 – -0,13	0,40 - 0,43	1.958,62	46,0
-0,14 – 0,24	0,44 - 0,62	856,98	20,1
Total:		4.255,22	100

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na figura 5, a utilização de uma paleta de cores para a segmentação revelou que os setores de maior eficiência fotossintética das plantas na faixa são representados por tons de azul escuro, enquanto os bosques com eficiência fotossintética reduzida aparecem em tons de azul claro de forma gradativa.

Figura 5: Estimativa da eficiência fotossintética das diferentes classes de densidades da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Segundo a estimativa do Índice de CO₂ flux, tem-se o intervalo entre -0,04 a 0,45. A maior extensão territorial foi ocupada por valores entre 0,32 – 0,45, abrangendo 2.547,58 ha (59,9%). Em seguida, as variações entre 0,26 – 0,31 correspondem a 1.586,41 ha (37,3%), enquanto a faixa entre -0,04 – 0,25 equivale a 121,23 ha (2,8%) da área (Tabela 4).

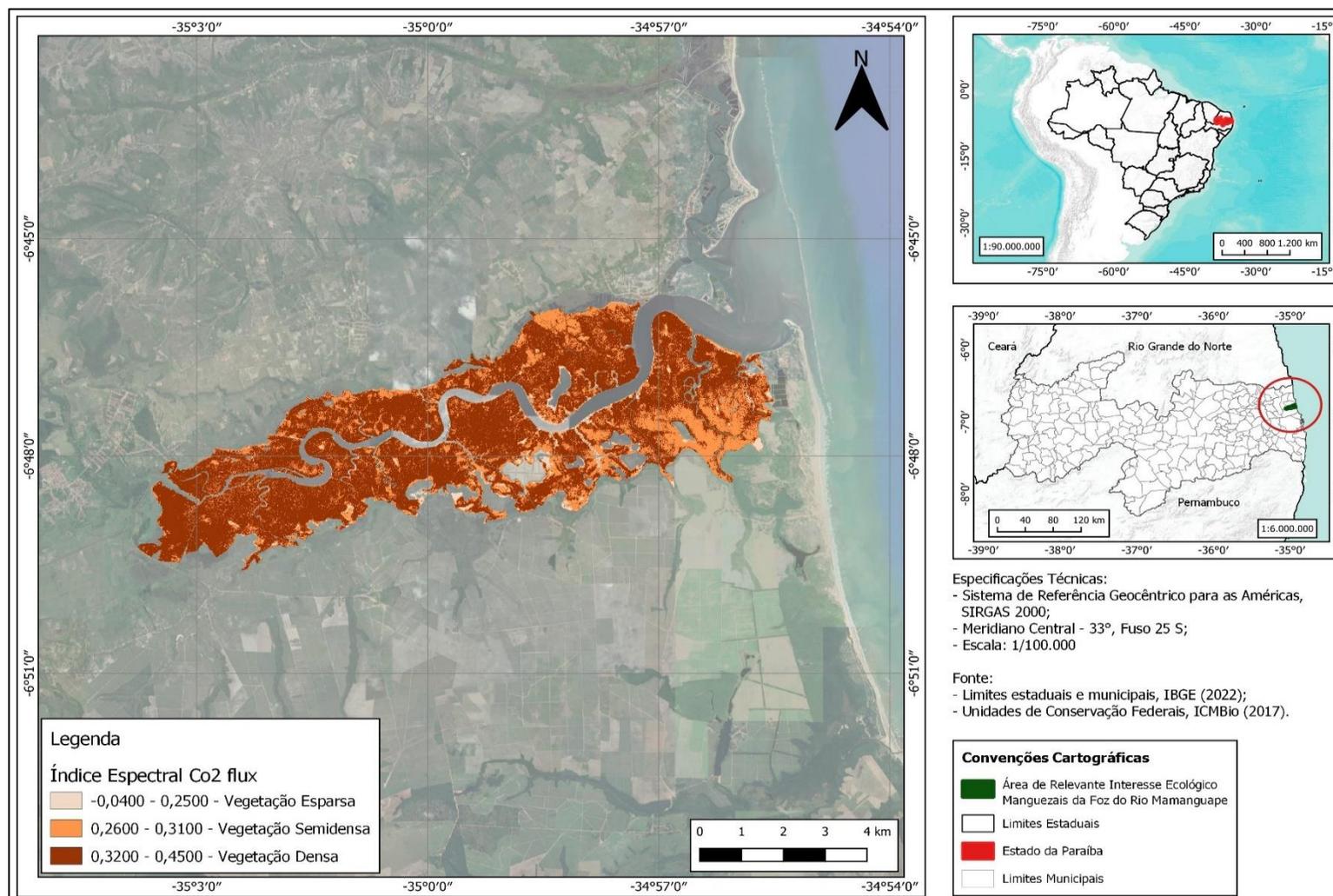
Tabela 4: Valores de CO₂flux aplicado na vegetação de mangue da ARIE da Foz do Rio Mamanguape.

Índice	Classes	Intervalos	Área (ha)	Percentual (%)
CO₂flux	Vegetação Esparsa	- 0,04 – 0,25	121,23	2,8
	Vegetação Semidensa	0,26 – 0,31	1586,41	37,3
	Vegetação Densa	0,32 – 0,45	2547,58	59,9
		Total:	4255,22	100

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os valores entre 0,26 a 0,45 do CO₂flux, identificam-se como áreas com maior eficiência de absorção de CO₂ pelos dosséis. Isso ocorre principalmente em trechos de vegetação Semidensa a Densa, caracterizados por uma elevada capacidade fotossintética. Por outro lado, as áreas com as menores capacidades de absorção de CO₂ registaram valores entre -0,04 a 0,25, referente as regiões de dosséis Espersos. Na Figura 7 tem-se a estimativa de CO₂ na floresta de mangue, onde tons mais escuros corresponde a área com maior potencial de captura de CO₂ e os tons mais claros com menor potencial de captura (Figura 7).

Figura 7: Estimativa de CO₂ Flux das diferentes classes de densidades da vegetação de mangue na ARIE de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape – PB.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6 DISCUSSÃO

Nosso estudo apontou que os maiores valores para o CO₂Flux ocorreram em direção a parte superior do estuário, indicando, portanto, que a alta densidade florestal em manguezais nessa área está associada a uma maior quantidade de biomassa vegetal. Recentemente Freires *et al.*, (2023) observaram uma zonação das espécies de mangues no estuário do rio Mamanguape, com maior dominância de *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle* e *A. germinans* nas zonas intermediária e superior do estuário, seguida de *R. mangle* na porção inferior do estuário. A diversidade de espécies exerce uma influência direta na composição dos estoques de carbono, uma vez que as características de cada uma delas, como por exemplo, a densidade da madeira, a altura máxima da copa, a área foliar específica, ou ainda a taxa de fotossíntese foliar podem ter uma relação direta como reservatórios de carbono no mangue (Rahman *et al.*, 2021).

Por exemplo, ao se analisar o teor de carbono de cada espécie de mangue no sistema Piraquê-Açu foi observado que *Laguncularia racemosa* apresenta quase quatro vezes mais carbono que *A. schaueriana* (0,89 e 0,23 t C/ha, respectivamente) (PORTILLO; LONDE; MOREIRA, 2017). Rodrigues *et al.* (2015) relatam que a média do teor de carbono para *A. schaueriana* e *L. racemosa* é de 44%, enquanto *R. mangle* apresenta 44,1%. Alguns fatores locais também podem contribuir para essa variabilidade espacial nos manguezais, como por exemplo, o tempo inundação pelas marés, fluxo de água doce e a disponibilidade de nutrientes (Silva e Torres, 2020; Souza; Silva; Moura, 2023). Segundo Silva-Neto e Silva (2023) os aspectos abióticos são importantes fatores que condicionam os estoques de carbono no ecossistema de manguezal. Todos esses fatores, juntamente com uma floresta mista de espécies de mangue, podem estar atuando para explicar essa variabilidade espacial observada no manguezal da ARIE.

Estudos apontam que valores positivos registrados pelo IVDN foram um indicativo que o aumento na cobertura vegetal está associado a presença de vegetação sadia, vigorosa e Densa (RAMSEY; JENSEN 1996; MOHAN *et al.*, 2009; YUVARAJ *et al.* 2014; SOUSA *et al.* 2016). Em um estudo realizado por Ruan *et al.* (2022), os autores apontaram que os manguezais da América do Sul e da Ásia apresentam valores de IVDN sempre maiores que 0,8 por conta da maior absorção da luz vermelha e o reflexo da luz infravermelha próxima devido à clorofila e à estrutura celular nas folhas, o que implica numa vegetação Densa e saudável. Na ARIE dos manguezais da foz do rio Mamanguape, os nossos resultados evidenciaram que para os valores de absorção e armazenamento de CO₂ houve uma variação de acordo com as classes de

vegetação. Os maiores valores foram registrados nas áreas onde a floresta de manguezal apresentava maiores valores de densidade (IVDN) quando comparadas com as áreas menos densas. As áreas mais densas estiveram amplamente distribuídas ao longo da ARIE. Esses maiores valores indicam que a vegetação está respondendo espectralmente pelo seu vigor, e consequentemente o sequestro de carbono aumenta.

Em nosso estudo os valores encontrados na ARIE (ascendente em direção a 1,0) estão dentro dessa amplitude apontada por aqueles autores. Resultados similares foram registrados nos estudos de Gomes *et al* (2020) e Medeiros; Sampaio; Nascimento (2018), os quais relataram que a maior biomassa nos manguezais estudados são uma consequência para maior capacidade de absorção de CO₂. Por outro lado, à medida que esses valores diminuem, eles apontam para uma menor refletância, o que corresponde a áreas com uma presença reduzida de vegetação ou onde a vegetação está sendo alterada ou enfrentamento de condições de estresse (Jensen, 2009; Ponzoni; Shimabukuro, 2010; Huete, 2012). Esses registros ocorreram principalmente na borda da ARIE, onde os impactos antrópicos causados pela retirada de madeira, construção de tanques de carcinocultura ou pela pressão das plantações de cana de açúcar tem sido observada (Silva-Neto; Silva, 2022; Freires *et al.*, 2023).

Com relação a eficiência fotossintética da vegetação do mangue, os resultados se pautaram no Índice de Refletância Fotoquímica (PRI). Valores circunvizinhos de -0,42 corroboram com maior eficiência fotossintética nos dosséis, cuja distribuição de vegetação delimita as classes Semidensa e Densa na área, indicando uma floresta sadia e conservada (GAMON; BERRY, 2012). Os trechos com menores taxas de eficiência fotossintética estimaram valores próximo a 0,24, representando vegetação Esparsa e na ocorrência de possíveis estressores nos dosséis. Um estudo similar realizado por Yang *et al.*, (2018) em uma reserva natural de manguezal no sul da China, indicou uma correlação significativa entre o pigmento da clorofila e a eficiência da luz nas espécies de mangue. Isso demonstra que esse índice é uma ferramenta valiosa na estimativa da atividade fotossintética das plantas de mangue. Além disso, os estudos conduzidos por Zhu *et al.*, (2019) no estuário de Zhangjiang, sudeste da China, corroboraram o uso do PRI como um preditor da eficiência fotossintética das plantas de mangue. Portanto, o PRI é um indicador útil para modelar a dinâmica do carbono atmosférico capturado pelas espécies de mangue.

Quando combinados o IVDN e o PRI forneceram informações complementares sobre a atividade fotossintética e a eficiência fotossintética, conforme sugerido por Gamon e Qiu (1999)

e Gamon *et al.* (2001). As florestas de mangue possuem alta eficiência fotoquímica, sendo que as espécies mais tolerantes a salinidade incrementa essa eficiência, uma vez que promovem maior assimilação de CO₂ (Pascoalini *et al.*, 2014). A Figura 6 deixa evidente que os menores valores de PRI ocorreram na parte inferior do estuário, onde segundo Freires *et al.*, (2023), há uma maior distribuição de *R. mangle*. Essa espécie tem sido apontada como menos tolerante a salinidade, enquanto para *L. racemosa* e *A. schaueriana* ocorre o oposto (Schaffer-Novelli, 1995). Além disso, em condições naturais, com o aumento da salinidade, as folhas de mangue tendem a ter menores taxas de assimilação de carbono, condutância estomática e concentrações intercelulares de CO₂ (Martin *et al.*, 2010).

Em geral, o estudo sobre a estimativa do fluxo de CO₂ na ARIE do Rio Mamanguape apresentou uma alta assimilação de CO₂, em especial nos pontos de maior densidade de árvores, e na região onde foi registrado uma maior cobertura da floresta mista (com diferentes espécies de mangue). O zoneamento do manguezal e a alta densidade florestal são fundamentais para a conservação da biodiversidade, uma vez que essas características disponibilizam uma série de habitats com alta disponibilidade de recursos para diversas espécies vegetais e animais. Esses resultados apontam que quando utilizados os índices de vegetação eles são extremamente úteis, pois os valores observados indicaram para uma floresta sadia, com teor fotossintético ativo e eficiente. Logo, essa importante unidade de conservação desempenha um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, atuando como sumidouros de carbono e contribuindo para a redução dos níveis de CO₂ na atmosfera de forma local.

7 CONCLUSÕES

- 1) As áreas de manguezais caracterizadas por maior densidade vegetal apresentaram maior atividade fotossintética, e estando localizadas principalmente na parte superior do estuário;
- 2) Áreas com vegetação menos densa no manguezal da ARIE do Rio Mamanguape constitui a menor porção da floresta, estando localizada principalmente nas bordas dessa unidade de conservação;
- 3) Os valores dos índices de vegetação indicaram para uma floresta sadia, com teor fotossintético ativo e eficiente na assimilação do CO₂.
- 4) Os índices de vegetação (IVDN, PRI e CO₂Flux) foram ferramentas eficientes e apontaram que o manguezal da ARIE do Rio Mamanguape conta com alto potencial fotossintético e de armazenamento de CO₂, relacionado com a presença de uma vegetação Densa cobrindo o manguezal dessa UC;
- 5) É importante ressaltar que os resultados apresentados são uma estimativa realizada para um único período, destacando a necessidade de ampliar a janela temporal para futuras pesquisas, agregando ainda dados sobre os componentes fitossociológicos e geoquímicos do solo para aprofundar e aprimorar a avaliação do estoque de carbono. Além disso, torna-se necessário aprofundar o entendimento das condições físicas, químicas e estruturais dos manguezais nessa área, bem como explorar seus potenciais na prestação de serviços ecossistêmicos. Vale destacar que este estudo contribuiu para ampliar o conhecimento sobre as estimativas de CO₂ em manguezais da costa do Brasil de forma local.

REFERENCIAS

- ADAME, M. F.; CONNOLLY, R. M.; TURSCHWELL, M. P.; LOVELOCK, C. E.; FATOYINBO, T.; LAGOMASINO, D.; BROWN, C. J. Future carbon emissions from global mangrove forest loss. **Global change biology**, v. 27, n. 12, p. 2856-2866, 2021.
- ALMEIDA, E. DOS.A.; FORTUNA, J. L. Ecologia de microfungos ambientais encontrados em substratos de manguezais. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer**.v.18, n.35. Jandaia-GO. 2021. p. 96-112. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2021A/ecologia.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- ALONGI, D.M., 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 76, 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>.
- ALONGI, D.M., 2020. Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci* 2 (3), 67. <http://dx.doi.org/10.3390/sci2030067>
- ARAÚJO, Y. R. V.; MOREIRA, Z. C. G.; NEVES, A. I. Estoque de carbono e de biomassa em vegetação com diferentes estágios de regeneração e alterações antrópicas em área urbana. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 2, 2020.
- AZOULAY, A. Manguezais são aliados no combate às mudanças climáticas. *Consciência*. <https://www.ecycle.com.br/manguezais-sao-aliadosno-combate-as-mudancas-climaticas/>.(2022)
- BANDEIRA, T.V.; CRUZ, M. L. B. Estudo da cobertura vegetal do município de Guaiuba/CE com base na utilização dos índices de vegetação SAVI e IVDN. **Geosul**, v. 36, n.78, p. 410-433, 2021.
- BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectrais. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, 2004. 189-202.
- BAPTISTA, G. M. M. Validação da Modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS HYPERION. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Sao Jose dos Campos: INPE, 2003. p. 1037-1044.
- BAPTISTA, M. S.; Análise temporal de IVDN sobre a cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental (APA) Costa Brava (Balneário Camboriú, SC). *Metodologias e Aprendizado* v.2, 2020.
- BARROS, a. B., AZEVEDO, J. A. M., BASTOS, A. L., & NASCIMENTO, V. X. (2021). Caracterização e biodisponibilidade de metais no mangue da Foz do Rio Meirim, Maceió-AL. *Brazilian Journal of Development*. v.7(2), 20133-20147.
- BECK, M. W., HECK, N., NARAYAN, S. Return on investment for mangrove and reef flood protection. *Ecosystem Services*, (56), 101-440. (2022)

BERNINI, E., Lage-Pinto, F., 2021. Infestation of the invasive exotic moth *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in *Avicennia* L. (Acanthaceae) in the mangrove of the mamanguape river, paraíba, Brazil. *Aquat. Bot.* 168. <http://dx.doi.org/10.1016/J.AQUABOT.2020.103311>

BERNINI, E., REZENDE, C.E., 2004. Estrutura da vegetação em florestas de manguedo estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta bot. bras.* 18,491-502. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/rkD8RLgJPNstgYZKpg4dW9c/?lang=pt>. Acesso em: 05 junh. 2023.

BEZERRA, F. G., Ferreira, R. A., & Mello, A. A. (2020). Composição e estrutura de uma área de manguezal da Floresta Nacional do Ibura, estado de Sergipe. *Acta Biológica Catarinense*, 7 (1), 103-112.

BRASIL. Decreto Federal n. 924 de 10 de setembro de 1993. Cria a Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape no Estado da Paraíba e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL. Decreto n. 91.890, de 05 de novembro de 1985. Declara como Área de Relevante Interesse Ecológico - ARIE, uma área de mangues denominada Manguezais da Foz do Rio Mamanguape, no Estado da Paraíba, e dá outras providências. ICMBIO. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidadescoservacao/arie_mamanguape.pdf. Acessado em: 15 jun. 2023.

COSTA, I. M.; ANDRADE, M. O.; GONÇALVES, A. F.; MARTINEZ-TORRES, M. E. Terra indígena em disputa: a reterritorialização dos potiguara na terra indígena Potiguara Montemor/Paraíba/Brasil. *Cadernos de Estudos Sociais*, v. 35, n. 2, 2020.

COSTA, J.M., 2017. Distribuição Espaço Temporal Do Uso E Cobertura Da Terra Da Sub-Bacia Dos Rios Velho e Açú. Graduate Monograph. Universidade Federal Da Paraíba, Rio Tinto, PB.

CRIPPEN, R. E. 'Calculating the vegetation index faster,' *Remote Sensing of Environment*, 34, 71-73. (1990)

DECKER, V., FALKENROTH, M., LINDAUER, S., LANDGRAF, J., AL-LAWATI, Z., AL-RAHBI, H., & HOFFMANN, G. Collapse of Holocene mangrove ecosystems along the coastline of Oman. *Quaternary Research*.n. 100, 52-76. (2021)

DONATO, D.C., KAUFFMAN, J.B., MURDIYARSO, D., KURNIANTO, S., STIDHAM, M., KANNINEN, M., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci.* 4, 293–297. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1123>.

DUKE, N. C. **Mangrove Coast**. In: Harff, J.; Meschede, M.; Petersen. S.; Thiede, J. (eds.). *Encyclopedia of Marine Geosciences*, Berlin: Springer Science, p. 1-17, 2014.

ESTRADA, G. C. D.; SOARES, M. L. G. Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, p. 973-989, 2017.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA) / SHARING EARTH OBSERVATION RESOURCES (EOPortal). Copernicus (European Commission's Earth Observation Program) / formerly GMES. Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus#sentinels>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). Sentinel online. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D.; MATOS, R. M. Köppen's and Thornthwaite Climate Classification for Paraíba State. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

FREIRES, J.L., 2017. Dinâmica Espaço Temporal Da Cobertura Vegetal Da Sub-Bacia Hidrográfica Do Rio Tinto. [Graduate Monograph]. Universidade Federal da Paraíba., Rio Tinto, PB.

FREIRES, J.L., LAGE-PINTO, F., BERNINI, E., 2023. Spatial-temporal distribution of mangrove species in the estuary of the Mamanguape river in the state of Paraíba, Brazil. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 66. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103166>.

FREITAS, D.M., RAMOS, A.L.A., SANO, E.E., BORGES, R.M.K., SILVESTRE, S.K., 2018. Mapas Dos Manguezais Do Brasil in: *Altas Dos Manguezais Do Brasil*. ICMBio, Brasília, http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf (acesso 20 outubro de 2023).

FRIESS, D. A.; YANDO, E. S.; ALEMU, J. B.; WONG, L. W.; SOTO, S. D.; BHATIA, N. Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. **Oceanography and Marine Biology**, 2020.

GAMON J. A.; KOVALCHUCK, C. Y. S. WONG, A. HARRIS, AND S. R. GARRITY. Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and IVDN sensors. *Biogeosciences*, 12, 4149–4159, 2015. [ww.biogeosciences.net/12/4149/2015/](http://www.biogeosciences.net/12/4149/2015/) doi:10.5194/bg-12-4149-2015. 2015.

GAMON, J. A. AND BERRY, J. A.: Facultative and constitutive pigment effects on the Photochemical Reflectance Index (PRI) in sun and shade conifer needles, *Isr. J. Plant Sci.*, 60, 85–95, doi:10.1560/ijps.60.1-2.85, 2012,

GATES, D. M. *Ecologia Biofísica*, Springer-Verlag, Nova York, 611 p. "Medindo a Vegetação". Observatório da Terra da NASA. 30/08/2000. (1980)

GHOSH, M.K., KUMAR, L., ROY, C., 2017. Climate variability and mangrove cover dynamics at species level in the sundarbans, Bangladesh. *Sustainability* 9 (805), <http://dx.doi.org/10.3390/SU9050805>.

GILMAN, E.L., ELLISON, J., DUKE, N.C., FIELD, C., Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquat. Bot.* 89, 237–250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>. 2008.

GIRI, C., OCHIENG, E., TIESZEN, L.L., ZHU, Z., SINGH, A., LOVELAND, T., MASEK, J., DUKE, N., 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth

observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20, 154–159.
<http://dx.doi.org/10.1111/J.1466-8238.2010.00584.X>.

GOMES A. E. S., BRAGA V. B., ALVES J. M. B., SILVA E. M., GOMES C. R. S., GOMES M. R. S. Análise de Estresse Vegetativo, Associado às Variáveis Climáticas no Nordeste do Brasil e nos Municípios do Ceará (Fortaleza, Jaguaruana e Campos Sales). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 3, 493–504, 2020 rbmet.org.br DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863530013>

GOMES, D. S.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; SANTOS, T. M.; SILVA, E. V.; BARBOSA, A. S. CO₂flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 04, p. 1898-1908, 2021.

GOMES, M. F. e FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Direito e Desenvolvimento*, v. 9, n. 2, p.155-178, 2018.

HAINES-YOUNG, Roy; POTSCHEIN, Marion. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)**. Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, UK: Fabis Consulting Ltd./European Environment Agency, v. 5, n. 1, p. 1- 10, jan. 2018.

HALLGREN, W., *ET AL.*, 2019. Species distribution models can be highly sensitive to algorithm configuration. *Ecological Modelling*, 408, 108719.
 doi:10.1016/j.ecolmodel.2019.108719.

HOWARD, Jennifer; HOYT, Sarah; ISENSEE, Kirsten; PIDGEON, Emily; TELSZEWSKI, Maciej. **Coastal blue carbon**: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Arlington: UNESCO, 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 nov. 2021

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Atlas dos manguezais no Brasil**. Brasília: ICMBio, 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global warming of 1.5°C**: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.). Genebra, Suíça: Working Group / Technical Support Unit, 2018.

INUI, C. Metodologia para Controle de Qualidade de Cartas Topográficas Digitais. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana. São Paulo, Brasil, 2006. 119 p.

ITURBIDE, M., BEDIA, J., AND GUTIÉRREZ, J.M., 2018. Background sampling and transferability of species distribution model ensembles under climate change. *Global and Planetary Change*, 166, 19–29. doi:10.1016/j.gloplacha.2018.03.008.

KASAWANI, J.K., 2021. Spectral signatures of some mangrove species in Malaysia. <http://www.upm.edu.my>. Kasawani, J.K., 2021. Spectral signatures of some mangrove species in Malaysia. <http://www.upm.edu.my>.

KAUFFMAN, BOONE; BERNARDINO, ANGELO; FERREIRA, TIAGO; GIOVANNONI, LEILA; GOMES, LUIZ EDUARDO DE O.; ROMERO, DANILO JEFFERSON; JIMENEZ, LAÍS COUTINHO ZAYAS; RUIZ, FRANCISCO. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. **Biology Letters**, v. 14, n. 9, p. 1 - 4, set. 2018a.

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

KUBASKI, KAUAN MATEUS. "Clima Urbano: temperatura superficial e IVDN uma análise das influências em Ponta Grossa-PR" (PDF) (em português do Brasil). UEPG (Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação-PROPEP). Arquivado do original (PDF) em 9 de julho de 2018 . Recuperado em 10 de setembro de 2019.

MACIEL, EMANUELLE BEZERRA. Diversidade funcional das assembleias de peixes em MAHMOUDI, M.; POUREBRAHIM, S.; KHORASANI, N.; DANEHKAR, A.; ETEMADI, H.; TANHA, Z. M.; MOEINADDINI, M. Carbon stock in three mangrove forests in north Persian Gulf. **Environmental Earth Sciences**, v. 81, n. 1, p. 1-14, 2022

MARTIN, K. C.; BRUHN, D.; LOVELOCK, C. E.; FELLER, I. C.; EVANS, J. R.; BALL, M. C. Nitrogen fertilization enhances water-use efficiency in a saline environment. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, p. 344-357, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02072.x>

MEDEIROS T. C. C., SAMPAIO E., NASCIMENTO D. M. Leaf area index and vegetation cover of the Paripe river mangrove, Pernambuco, Brazil, in 1997 and 2017. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista da Gestão Costeira Integrada* 18(1):41-48 (2018)

MEDEIROS, I.S., 2016. Fragilidade ambiental da paisagem da Área de Proteção Ambiental (APA). [Graduate Monograph]. Universidade Federal da Paraíba., Rio Tinto, PB.

MEDEIROS, I.S., REBELO, V.A., DOS SANTOS, S.S., MENEZES, R., ALMEIDA, N.V., MESSIAS, L.T., NASCIMENTO, J.L.X., LUNA, F.O., MARMONTEL, M., BORGES, J.C.G., 2021. Spatiotemporal dynamics of mangrove forest and association with strandings of antillean manatee (*Trichechus manatus*) calves in paraíba. Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc.* 101 (3), 503–510. <http://dx.doi.org/10.1017/S002531542100045X>.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 23, 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB, 2012.

MENEZES, M. P. M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão states North Brazil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 3, p.403-420,2008. Disponível em :<https://www.scielo.br/j/aa/a/94wPRFJcLpjvkNzDQk9YfWv/?lang=en>. Acesso em: 12agostode2023.

MITRA, A. Mangrove forests in India. **Springer International Publishing**, 2020.

MOHAN P. TIRUVEEDHULA., JOSEPH FAN., RAVI R. SADASIVUNI., SURYA S. DURBHA., E DAVID L. EVANS. Delineação da Cobertura Florestal Baseada em Biomassa e Saúde Usando Descombinação Espectral. Conferência Anual ASPRS 2009 Baltimore, Maryland, de 9 a 13 de março,(2009)

MORO, L.D., MACULAN, L.S., PIVOTO, D., CARDOSO, G.T., PINTO, D., ADELODUN, B., BODAH, B.W., SANTOSH, M., BORTOLUZZI, M.G., BRANCO, E., NECKEL, A., 2022. Geospatial analysis with landsat series and sentinel-3B OLCI satellites to assess changes in land use and water quality over time in Brazil. **Sustainability** 14 (9733), <http://dx.doi.org/10.3390/su14159733>.

MOURÃO, J. S et al. Local ecological knowledge of shellfish collectors in an extractivist reserve, Northeast Brazil: implications for co-management. **Hydrobiologia**, v. 847, n. 8, p. 1977–1997, 2020.

MYNENI, RB, FG HALL, PJ SELLERS AND AL MARSHAK (1995) 'The interpretation of spectral vegetation indices', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, 481-486.

NELSON, B. W., MESQUITA, R., PEREIRA, J. L. G., DE SOUZA, S. G., BATISTA, G. T., & COUTO, L. B. (1999). Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, 117(1-3), 149-167.

NETO M. M, SILVA J. B. Análise geoambiental do Baixo Mamanguape - Paraíba, Brasil. **GeoTextos**, vol. 18, n. 1, julho 2022. 193-220. DOI: <https://doi.org/10.9771/geo.v18i1.48142>

NETO, M. M.; SILVA, J.B. Estimativas dos estoque de carbono em ecossistema de manguezal no brasil: uma revisão. **Geoambiente on-line**. <http://www.revistas.ufg.br/geoambiente> Jataí-GO. n 45, Jan-Abr/2023.

OLIVEIRA, LINALDO LUIZ DE. Cultivo de *Crassostrea* (sacco, 1897), (bivalvia: ostreidae) no estuário do rio mamanguape, paraíba, brasil: implicações para. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de PósGraduação e Pesquisa, 2022.

PASCOALINI, S. S.; LOPES, D. M. de S.; FALQUETO, A. R.; TOGNELLA, M. M. P. Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. *Acta Scientiarum. Ciências Biológicas*, [SI], v. 3, pág. 1-10, 2014. Universidade Federal do Espírito Santo/Centro Universitário Norte do Espírito Santo. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p1> . Acesso em: [dados de acesso].

PEARSON, T. R., BROWN, S., MURRAY, L., & SIDMAN, G. (2012). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. **Carbon Management**, 3(3), 303-305

PEREIRA, L. C.; NUNES, A. B.; ROCHA, I. L.; OLIVEIRA, J. L.; BRANDÃO, M. L. S. M.; LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F. Fluxo de CO₂ e os índices de vegetação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3585-3601, 2020.

PESSANHA, A. L. M.; SALES, N. S.; DA SILVA LIMA, C. S.; CLARK, F. J. K.; DE LIMA, L. G.; DE LIMA, D. E. P. C.; BRITO, G. J. S. The occurrence of fish species in multiple habitat types in a tropical estuary: Environmental drivers and the importance of connectivity. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 262, p. 107604, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107604>

PHAM, T. D.; YOKOYA, N.; BUI, D. T.; YOSHINO, K.; FRIESS, D. A. Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges. **Remote Sensing**, v. 11, n. 3, p. 230, 2019
PHILLIPS, S.J., *et al.*, 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, **19** (1), 181–197. doi:10.1890/07-2153.1.

PORTELA, M. G. T.; ESPINDOLA, G. M.; VALLADARES, G. S.; AMORIM, J. V. A.; FROTA, J. C. O. Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 28, n. 4, p. 607-622, 2020.

QGIS, Development Team. 2022. **QGIS** Geographic Information System, version 3.22.9. QGIS Association. Disponível em: <http://www.qgis.org/>. Acesso em: 02 de ago. 2022.

RAHMAN, MM, ZIMMER, M., AHMED, I. Co-benefícios da protecção dos mangais para a conservação da biodiversidade e armazenamento de carbono. **Nat Commun** **12** , 3875 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24207-4>

RAMSEY, E.W.; III E JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto de áreas úmidas de mangue: Relacionando espectros de dossel a dados específicos do local, Fotograma. **Eng. Sensoriamento remoto**, 62,939-948 (1996).

ROMAÑACH, S. S.; DEANGELIS, D. L.; KOH, H. L.; LI, Y.; TEH, S. Y.; BARIZAN, R. S. R.; ZHAI, L. Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. **Ocean & Coastal Management**, v. 154, p. 72-82, 2018.

ROVAI, Andre; TWILLEY, Robert; WORTHINGTON, Thomas A.; RIUL, Pablo. Brazilian Mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 1-11, 3 jan. 2022.

RUAN L, YAN M, ZHANG L, FAN X, YANG H. Spatial-temporal IVDN pattern of global mangroves: A growing trend during 2000-2018. **Sci Total Environ**. 2022 Oct 20;844:157075. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157075. Epub 2022 Jun 30. PMID: 35779718.

SAINTILAN, N.; KHAN, N. S.; ASHE, E.; KELLEWAY, J. J.; ROGERS, K.; WOODROFFE, C. D.; HORTON, B. P. Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. **Science**, v. 368, n. 6495, p. 1118-1121, 2020.

SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 9-14, 2015.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1995. Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo, Caribbean Ecological Research.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal ecossistema entre a terra e o mar. *São Paulo: Caribbean Ecological Research*. . Acesso em: 08 nov. 2023, 1995.

SELLERS, P.J. (1985) 'Reflectance, photosynthesis and canopy transpiration', **International Journal of Remote Sensing**, 6, 1335-1372.

SILLERO, N., 2011. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. **Ecological Modelling**, 222, 1343–1346. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.01.018.

SILLERO, N.; BARBOSA, M. Common mistakes in ecological niche models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 35, p. 213-226, 2021.

SILVA, S. A.; BARROS, V.; OLIVEIRA, A. Estrutura fitossociológica do manguezal da Lagoa do Roteiro, Alagoas, Nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 532-541, 2020.

SOUSA, R. S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. Análise do índice de Vegetação (IVDN) e vulnerabilidade ambiental da Planície costeira do estado do Piauí. *Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, Ceará*, v. 18, n. 2, p. 82-99, set. 2016.

SOUZA, M. S. C.; SILVA, J. B.; MOURA, D. C. Assinatura Energética Do Manguezal Do Estuário do Rio Gramame-PB. *Revista Sociedade Científica, Volume 6, Número 1, Ano 2023*.

TURNER, W., *et al.* "Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation." **Biological Conservation**, 182, 173-176, 2015.

VAN DER STOCKEN, T.; WEE, A. K.; DE RYCK, D. J.; VANSCHOENWINKEL, B.; FRIESS, D. A.; DAHDOUH-GUEBAS, F.; WEBB, E. L. A general framework for propagule dispersal in mangroves. **Biological Reviews**, v. 94, n. 4, p. 1547-1575, 2019.

WANG, D.; WAN, B.; LIU, J.; SU, Y.; GUO, Q.; QIU, P.; WU, X. Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p. 101986, 2020

XIONG, Yanmei; LIAO, Baowen; WANG, Faming. Mangrove vegetation enhances soil carbon storage primarily through in situ inputs rather than increasing allochthonous sediments. **Marine pollution bulletin**, v. 131, p. 378-385, 2018.

YANG, Z., GUAN, W., LIN, G., & YANG, X. Monitoring mangrove leaf pigments using hyperspectral reflectance data: Implications for assessing stress and structural damage. *PLoS ONE*, 13(1), e0191105, 2018.

YU, C.; FENG, J.; LIU, K.; WANG, G.; ZHU, Y.; CHEN, H.; GUAN, D. Changes of ecosystem carbon stock following the plantation of exotic mangrove *Sonneratia apetala* in Qi'ao Island, China. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 717, p. 137142, 2014.

ZHU, Z., CAO, S., PAN, Y., SHEN, W., & SHEN, Y. (2019). Assessing mangrove leaf chlorophyll content through a novel index based on the red-edge band of hyperspectral data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75, 90-99.