



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE – PRODEMA

BEATRIZ ALVES RIBEIRO

**INFLUÊNCIA ANTRÓPICA E CONDIÇÃO BIOLÓGICA DE VEGETAÇÃO DE
MANGUE NA PANDEMIA DA COVID-19**

RECIFE
2022

BEATRIZ ALVES RIBEIRO

**INFLUÊNCIA ANTRÓPICA E CONDIÇÃO BIOLÓGICA DE VEGETAÇÃO DE
MANGUE NA PANDEMIA DA COVID-19**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel

Coorientadora: Profa. Dra. Milena Dutra da Silva

RECIFE
2022

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

R484i Ribeiro, Beatriz Alves.
 Influência antrópica e condição biológica de vegetação de mangue na pandemia
 da COVID-19 / Beatriz Alves Ribeiro. – 2022.
 71 f. : il. ; 30 cm.

 Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel.
 Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Milena Dutra da Silva.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
 Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2022.
 Inclui referências.

 1. Meio ambiente. 2. Paisagem. 3. Plantas do manguezal. 4. Ecologia. I.
 Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonça (Orientadora). II. Silva, Milena Dutra da
 (Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2022-060)

BEATRIZ ALVES RIBEIRO

**INFLUÊNCIA ANTRÓPICA E CONDIÇÃO BIOLÓGICA DE VEGETAÇÃO DE MANGUE NA
PANDEMIA DA COVID-19**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 21/02/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Tiago Henrique de Oliveira (Examinador Externo)
Prefeitura da Cidade do Recife

Prof.^o. Dr. Alexandre Ricardo de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

Prof.^a. Dr.^a. Janaina Barbosa da Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Campina Grande

A minha eterna avó “Mãe Ana” vítima da COVID-19, por todo cuidado e zelo, e por ter me ensinando tanta coisa ao longo da minha trajetória. Jamais será esquecida em meu coração, dedico...

AGRADECIMENTOS

Meu singelo agradecimento, primeiramente, a Deus, por me dar forças em meio às dificuldades nesses anos de tantas perdas para famílias do Brasil e do mundo, na fé de que tempos melhores virão.

Aos meus pais, Jair Alves de Barros e Ednaldo dos Santos, e a minha mãe Maria Alves dos Santos, por sempre estarem ao meu lado e me apoiar em todas as minhas escolhas, sou muito grata pela família maravilhosa e abençoada que tenho.

Aos meus irmãos, Rick Alves de Barros e João Miguel Alves de Barros, por todo carinho e por todo amor, torço para que meus passos sejam um espelho para a caminhada de vocês e entendam que nenhuma dificuldade é motivo para desistir, seus sonhos são maiores que todos os obstáculos... Amo vocês!

À minha Orientadora, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel, e à minha Coorientadora, Milena Dutra da Silva, que mesmo em nosso trabalho à distância, devido à pandemia, foram tão presentes e pacientes comigo ao longo da realização deste trabalho. Foram e estão sendo maravilhosas comigo. Obrigada por todo ensinamento...

Aos meus amigos que conquistei durante a vida acadêmica, Rafaella Gregório, Janiele Pulquerio, Jhennipher Pereira, Emeson Farias, Carolina Jeffery, Janecléia Neves, Cinthya Lima, Leandro Bertulino, Deisy Kelly Pereira, Dayane Silva, Eduarda Lemos, Beatriz Nogueira, Rafela Medeiros, Erika Kaya e Gabriel Ramos. Por toda amizade, apoio e incentivo.

Aos meus amigos da turma de mestrado do PRODEMA-UFPE, em especial Jacqueline Macedo, Wilma Paixão, Ismael Botelho e Glauce Dias, por todos os conselhos e carinho, sou muito feliz em fazer parte dessa turma com todos vocês...

À banca examinadora, por aceitarem o convite e pela disponibilidade em avaliar este trabalho.

Aos professores do PRODEMA-UFPE que contribuíram para a minha formação acadêmica, e nos deram total apoio no momento de adaptação no ensino à distância.

Aos funcionários do PRODEMA-UFPE, como a Coordenação, os responsáveis pela limpeza, o pessoal da biblioteca e todos que, de alguma forma, cuidam para o funcionamento do Programa como um todo.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda”.

(FREIRE, 1992).

RESUMO

Os manguezais são formações vegetais de valor ambiental, ecológico, econômico e cultural, estando inserido na categoria de Área de Proteção Permanente (APP), na qual apresenta a função ambiental e ecológica de preservar os recursos hídricos, a biodiversidade, entre outros. Nesse sentido, o estudo objetiva avaliar os efeitos da ação antrópica em áreas de manguezal no início da pandemia da COVID-19, analisando a dinâmica dos fragmentos vegetais e as manchas de vegetação mangue. Foram utilizadas imagens do sistema de nano satélites PlanetScope, Landsat 5 e Landsat 8, por meio da aplicação de índices específicos vinculados à clorofila ativa (*NDVI-Normalized Difference Vegetation Index*, *SAVI-Soil Adjusted Vegetation Index*, *EVI-Enhanced Vegetation Index*, *ARVI-Atmospherically resistant vegetation index* e *CO₂_flux*), e ao conteúdo hídrico (*NDWI-Normalized Difference Water Index*). Métricas em ecologia da paisagem foram aplicadas na análise da condição biológica da vegetação e influência antrópica, foram obtidos dados sobre o quantitativo de veículos que circulam na cidade de Recife-PE no início da pandemia da COVID-19 e dados sobre a temperatura da superfície. Ao analisar a condição biológica da vegetação, com relação aos índices, foram observadas alterações no interior dos fragmentos de mangue, principalmente nas áreas próximas à borda e em manchas mais lineares e alongadas, indicando quadros de fragilidade ambiental. Esse fator pode estar vinculado à perda de vegetação analisada pelas métricas da paisagem, entre os anos 2010, 2017 e 2020 (período da implementação da Via Mangue). Não houve redução significativa com relação ao quantitativo de veículos, mesmo no período de recomendações de isolamento social. Um aumento da temperatura da superfície entre os anos 2019 e 2020, é um fator que pode estar vinculado ao aumento das atividades antrópicas. Os dados convergem para uma condição de perturbação ambiental nos fragmentos de mangue da cidade de Recife-PE no início da pandemia da COVID-19, gerada pelas mudanças na paisagem, ao longo dos anos.

Palavras-chave: fragmento vegetal; métricas da paisagem; perturbação ambiental; índices de vegetação; caracteres espectrais.

ABSTRACT

Mangroves present plant formations that have environmental, ecological, economic, and cultural value, and are included in the category of Permanent Protection Area (APP), in which it has an environmental and ecological function of preserving water resources, and biodiversity, among others. In this sense, the study aims to evaluate the effects of human action in mangrove areas at the beginning of the COVID-19 pandemic, analyzing the dynamics of plant fragments and the quality of mangrove vegetation patches. For the analysis of the quality of the location of the mangrove location, images from DOVE, Landsat 5, and Landsat 8 were used, through the application of active links (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index, SAVI-Soil Adjusted Vegetation Index, EVI- Enhanced Vegetation Index, ARVI- Index of vegetation resistant to atmosphere and CO₂_flux), and to water content (NDWI-Normalized Difference Water Index). In addition, measurements were also applied in landscape ecology. For a better analysis of the quality of the information, data on the license in the city of Recife-PE at the beginning of the COVID-19 pandemic and data on surface temperature were acquired. When analyzing the biological condition of the relationship with the indices, the man was changed mainly inside the fragments near the edge and in more linear loss and along the, indicating pictures of environmental risk in the areas, this factor, and this association with the loss more linear and along with the landscape measurements between the years 2010, 2017 and 2020 (period of implementation of Via Mangue). Regarding the permitted reduction, it was observed that there was no significant reduction even with social restrictions. In addition, an increase in surface temperature was also observed, which is a factor that may be linked to the increase in anthropic activities. In this way, the data confirm a condition of environmental disturbance in the mangrove fragments of the city of Recife-PE at the beginning of the COVID-19 landscape pandemic, generated by changes in the landscape over the years and which were attenuated due to the loss of cover. vegetal, being the data presented here proposed for mitigation of measures to be executed in the long term.

Keywords: Plant fragment; landscape metrics; environmental disturbance; vegetation indices; spectral characters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Dinâmica dos fragmentos de mangue do Parque dos manguezais entre 1951 a 2014. Recife, Pernambuco, Brasil. Streets – Ruas; Water – Água; Mangrove – Manguezal; Aquaculture – Aquicultura; Built-up area – Áreas edificadas; Green covered – Cobertura vegetal; Beach – Praia; Areal – Areia; Mangrove Park – Parque dos Manguezais.	22
Quadro 1-	Características espectrais do satélite Landsat 5/sensor TM e Landsat 8/sensor OLI	26
Quadro 2-	Características espectrais do sistema de satélite <i>Planetscope</i>	26
ARTIGO 1	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ECOLOGIA DA PAISAGEM EM ÁREA DE MANGUE DENSAMENTE URBANIZADA	30
Figura 1-	Localização de fragmentos de mangue em Recife, Pernambuco, Brasil	34
Quadro 1-	Informações metodológicas sobre os índices de vegetação (<i>Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI, Enhanced Vegetation Index - EVI, Atmospherically resistant vegetation index - ARVI, Normalized Difference Water Index - NDWI</i>) relacionados à clorofila ativa e conteúdo hídrico na vegetação	36
Quadro 2-	Modelagem para análise da Ecologia da Paisagem. 1) <i>Number of Patches (NP)</i> , 2) <i>Class Area (CA)</i> , 3) <i>Total Class Core Area (TCA)</i> , 4) <i>Core Area Index (CAI)</i> , 5) <i>Total Edge (TE)</i> , 6) <i>Mean Patch Edge (MPE)</i> , 7) <i>Mean Shape Index (MSI)</i> , 8) <i>Mean Perimeter Area Ratio (MPAR)</i>	37
Figura 2-	Mapa indicando a Estimativa do <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020	38
Figura 3-	Estimativa do <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020	40
Figura 4-	Estimativa do <i>Enhanced Vegetation Index</i> no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020	41
Figura 5-	Estimativa do <i>Atmospherically resistant vegetation index</i> no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020	42
Figura 6-	Estimativa do <i>Normalized Difference Water Index</i> no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Imagem: <i>Planetscope</i> . Data da imagem:	43

24/08/2020

Figura 7 -	Mapa com a classificação supervisionada da área de manguezal, Recife, Pernambuco, Brasil	44
ARTIGO 2	MANGUEZAL EM ESPAÇOS URBANOS: O MANGUE NA PANDEMIA DA COVID-19	50
Figura 1-	Localização da área de mangue na cidade de Recife, Pernambuco, Brasil	55
Figura 2-	Estimativa do Índice CO_2_{flux} no mangue de Recife, Pernambuco, Brasil	58
Figura 3-	Estimativa do NDVI no mangue de Recife, Pernambuco, Brasil	60
Figura 4-	Temperatura da superfície para área de mangue do Recife-PE	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Coeficientes para a correção atmosférica das bandas do satélite <i>Planetscope</i>	35
Tabela 2-	Valores das métricas da paisagem relacionadas ao mangue, Recife, Pernambuco, Brasil. (NP - <i>Number of Patches</i> , CA - <i>Class Area</i> , TCA - <i>Total Class Core Area</i> , CAI - <i>Core Area Index</i> , TE - <i>Total Edge</i> , MPE - <i>Mean Patch Edge</i> , MSI - <i>Mean Shape Index</i> , MPAR - <i>Mean Perimeter Area Ratio</i>)	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ZC	Zona Costeira
GEE	Gases de Efeito Estufa
UC's	Unidades de Conservação
ODS	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
SIG	Sistema de Informação Geográfica
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
SR	Sensoriamento Remoto
IV's	Índices de Vegetação
HAP's	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
ARVI	<i>Atmospherically resistant vegetation index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NP	<i>Number of Patches</i>
CA	<i>Class Area</i>
TCA	<i>Total Class Core Area</i>
CAI	<i>Core Area Index</i>
TE	<i>Total Edge</i>
MPE	<i>Mean Patch Edge</i>
MSI	<i>Mean Shape Index</i>
MPAR	<i>Mean Perimeter Area Ratio</i>
BDE - PE	Base de Dados do Estado de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	AÇÕES ANTRÓPICAS EM ÁREAS DE MANGUEZAL	19
3.2	CARACTERÍSTICAS E MUDANÇAS NA ESTRUTURA DA PAISAGEM	21
3.3	GEOTECNOLOGIAS PARA O MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DO MANGUE	24
3.4	CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DO SATÉLITE LANDSAT 5 E 8 E <i>PLANETSCOPE</i> PARA O ESTUDO DA VEGETAÇÃO	25
3.5	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA O MANGUEZAL	27
3.6	ECOLOGIA DA PAISAGEM PARA ESTUDOS DA COBERTURA VEGETAL	28
4	ARTIGO 1 - ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ECOLOGIA DA PAISAGEM EM ÁREA DE MANGUE DENSAMENTE URBANIZADA	30
5	ARTIGO 2 - MANGUEZAL EM ESPAÇOS URBANOS: O MANGUE NA PANDEMIA DA COVID-19	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

As ações antrópicas em Zonas Costeiras (ZC) têm sido frequentes devido à ocupação humana nessas áreas, que, por apresentar recursos de fácil acesso, como água e alimentos, se tornam áreas propícias para o desenvolvimento de atividades humanas. Estima-se que 1/3 da população no mundo está distribuída nessas áreas, na qual podemos encontrar ecossistemas de grande valor ambiental e econômico, como os manguezais (MEHVAR; FILATOVA; DASTGHEIB, 2018).

Lucena et al. (2011) ressaltam que, no Brasil, entre os recursos mais explorados pela população humana, em áreas de manguezais, destacam-se os componentes de flora e fauna (tanino para tinturas, crustáceos, medicamentos de origem natural, peixes, entre outros), além da exploração da madeira, uso do solo para monoculturas e ocupação humana.

No Brasil, os manguezais encontram-se inseridos na região tropical e subtropical da zona costeira, em áreas de transição entre o meio aquático e terrestre, conferindo a esse ecossistema características específicas para o estabelecimento das espécies vegetais adaptadas ao intenso fluxo de marés, como influência nas variações climáticas, geomorfológicas, associadas a uma alta salinidade, apresentando funções ecológicas importantes para a manutenção da vida costeira (SANTOS; BELTRÃO; TRINDADE, 2019).

A cobertura vegetal do manguezal fornece proteção à linha de costa, bem como alimento e abrigo para inúmeras espécies. Além disso, os manguezais contribuem para a redução dos gases de efeito estufa (GEEs), como o dióxido de carbono (CO₂), utilizado na fotossíntese. As espécies arbóreas encontradas nos manguezais brasileiros são: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stap. & Leech, *Laguncularia racemosa* L. e C.F. G. e *Conocarpus erectus* L. (SILVA, 2019).

Os manguezais da costa brasileira apresentam predominância de espécies vegetais arbóreo-arbustivas (angiospermas) em sua composição florística, podendo apresentar também micro e macroalgas (criptógamas) associadas ao ecossistema. As espécies vegetais de porte arbóreo apresentam estrutura foliar de maior complexidade (camadas de células do parênquima paliçádico), além de copas mais rugosas e de maior estratificação vertical do dossel (MELO, 2018).

Devido aos impactos causados ao manguezal por ações de origem antrópica, esse ecossistema encontra-se inserido na categoria das Unidades de Conservação

(UCs) em que é permitido o uso sustentável dos recursos naturais, assegurando a manutenção das comunidades tradicionais, em seus aspectos sociais e culturais (MACEDO; ORNELLAS, 2020).

A condição biológica da vegetação pode ser analisada com base na utilização de métodos e técnicas não destrutíveis de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (SR), contribuindo para uma análise detalhada e temporal da referida área (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

Almeida e Silva (2016) destacam que, em se tratando de estudos vinculados à Ecologia da Paisagem, as geotecnologias constituem um conjunto de técnicas que contribuem para a coleta e análise de dados geoespaciais, que podem ser processados e interpretados, sendo uma importante ferramenta a ser utilizada para a tomada de decisão e gestão de áreas com importância ambiental.

O SR permite analisar, por meio de modelagens matemáticas, a condição biológica da vegetação fotossinteticamente ativa, devido a resposta espectral, como resultado da interação da radiação solar incidente entre as regiões espectrais do vermelho (*RED*) e infravermelho próximo (*NIR*) (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

A resposta espectral da condição biológica da vegetação pode apresentar variações em resposta aos parâmetros biofísicos, como biomassa, água na estrutura foliar, fluxo de radiação incidente e área foliar. Sendo assim, as informações contidas nos pixels (*picture element*), possibilitam a distinção de diferentes “alvos” na paisagem, assim como suas propriedades espectrais, as quais corroboram o diagnóstico da superfície vegetada (POLONIO, 2015).

Em meio ao atual cenário mundial, em consequência da pandemia pelo novo coronavírus, o Sars-cov-2, denominado COVID-19 pela Organização Mundial da Saúde (OMS), foi necessário adotar medidas restritivas de isolamento social, fazendo com que novos hábitos fossem adotados para impedir a disseminação da doença, reduzindo a circulação de pessoas nos espaços urbanos e rurais (MACEDO; ORNELLAS, 2020).

Nesse sentido, o estudo visa analisar o *status* da condição biológica de uma vegetação de mangue, considerando os efeitos antrópicos no período inicial da pandemia da COVID-19, posto que uma das medidas adotadas para amenizar a disseminação da doença foi o isolamento social. Dessa forma, o uso de

geotecnologias para a obtenção de dados sobre a resposta espectral da vegetação, contribui para o diagnóstico na identificação de possíveis estresses ou demais perturbações de origem antrópica na superfície vegetada.

Ressalta-se que os dados e informações que foram obtidos no desenvolvimento deste estudo servem como base para a tomada de decisão pela gestão e na elaboração de estratégias para a aplicação de políticas ambientais eficazes para amenizar os impactos causados ao mangue.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da ação antrópica em fragmentos de manguezais na pandemia da COVID-19, analisando a dinâmica dos fragmentos vegetais e a qualidade das manchas da vegetação mangue.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar a condição biológica da vegetação de mangue;
- b) Identificar quadros de fragilidade ambiental da vegetação de mangue;
- c) Determinar a relação entre o isolamento social durante a pandemia da COVID-19 e a condição biológica da vegetação de mangue.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AÇÕES ANTRÓPICAS EM ÁREAS DE MANGUEZAL

As zonas costeiras apresentam, em sua formação, áreas de planície com estuários e reentrâncias, exibindo rios extensos e áreas com alta amplitude de marés, apresentando, em sua composição arbórea, espécies típicas do ecossistema manguezal, com copas densas e estrutura foliar complexa (ANDRADE; MARTINS; SOUZA-FILHO, 2018).

Os manguezais podem ser encontrados em regiões tropicais e subtropicais do mundo, principalmente em ambientes costeiros, apresentando alta tolerância à salinidade, variando entre água doce até hipersalinas, as quais podem variar de 0 a 100 ppm. Além disso, são ecossistemas que apresentam um solo de aspecto lodoso, característico do ecossistema, apresentando baixa circulação de oxigênio e alta concentração de matéria orgânica (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Nas últimas décadas tem-se observado o aumento de ações antrópicas em ambientes costeiros de áreas tropicais. Em cidades densamente urbanizadas, esses impactos podem ser abordados em nível global (com o desenvolvimento do turismo em ambientes salinos) e em nível local (com modificações no relevo para fins econômicos, como piscicultura, e expansão da mancha urbana) (MOSCHETTO; RIBEIRO; FREITAS, 2021).

A intensidade dessas ações em ambientes costeiros é ainda mais atenuada em paisagens naturais e antropogênicas, sendo as áreas costeiras mais longas e com solo arenoso aquelas que mais toleram as ações antrópicas, em comparação a faixas de litorais mais curtos e rochosos (MOSCHETTO; RIBEIRO; FREITAS, 2021).

No Brasil, o manguezal é um ecossistema inserido no bioma Mata Atlântica, estando os indivíduos desse bioma distribuídos em 15% do território nacional e apresentando, em sua composição florística, floresta ombrófila densa, mangue, restinga, matas de araucárias e campos de altitude (SILVA., 2019).

Os manguezais são altamente resilientes e com potencial para se ajustar a diferentes condições do ambiente, permitindo que esse ecossistema permaneça presente em diferentes áreas ao redor do mundo. No entanto, a conversão da vegetação mangue para diversos usos do solo, predominantemente para a expansão urbana e atividades econômicas, esta causando alterações na paisagem

do manguezal e prejudicando a qualidade da vegetação e o ciclo biológico das espécies (OSLAND et al., 2018).

Com relação à cobertura vegetal do manguezal, é um ecossistema que detém alto valor econômico e ecológico, destacando sua importância na retenção de sedimentos conduzidos pelas correntezas dos rios, na ciclagem de nutrientes, renovação de biomassa, entre outros, servindo como base para a manutenção de inúmeras espécies características das áreas costeiras (MOSCHETTO; RIBEIRO; FREITAS, 2021).

Segundo Schaeffer-Novelli (1999), os manguezais se destacam pela alta produtividade no ambiente costeiro, oferecendo serviços ecossistêmicos indispensáveis às diversas formas de vida. Além disso, os manguezais funcionam como uma proteção na linha de costa contra desastres naturais, como tsunamis e ciclones. Destacamos a contribuição do ecossistema para a pesca artesanal, a qual é fonte de sustento para inúmeras famílias em comunidades tradicionais costeiras.

Países como Mianmar, Malásia, Índia e Indonésia utilizam intensamente o solo do manguezal para a atividade de carcinicultura, o que implica em altas taxas de desmatamento ao longo do ano. No Brasil, em comparação a esses países, as taxas de uso e a ocupação do solo de manguezal para todo o país, considerando os processos históricos do ecossistema, são relativamente baixas; esse fator vincula-se à importância de leis ambientais que atuam sobre o ecossistema, impedindo danos maiores à comunidade costeira (GOMES et al., 2021).

Moschetto, Ribeiro e Freitas (2021) ressaltam que o Brasil apresenta uma das maiores faixas de manguezal do mundo. Porém, o aumento da ocupação urbana nas zonas costeiras tem ocasionado um maior risco de impacto antrópico sobre essas áreas, destacando a importância de medidas legislativas para a proteção e a conservação de ecossistemas costeiros, como os manguezais.

Após o surgimento da COVID-19, a qual apresentou seus primeiros registros como uma crise epidêmica na cidade de Wuhan, na China, em 2019, destacada como uma *Public Health Emergency of International Concern* – PHEIC (Emergência de Saúde Pública de Preocupação Internacional), algumas medidas para o controle da contaminação da doença foram adotadas em todo o mundo (RODRÍGUEZ-MORALES et al., 2020).

Não obstante, em março de 2020, a COVID-19 foi declarada pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2020) como uma condição de pandemia no mundo todo. A partir de então, os problemas que vinham preocupando cientistas e ambientalistas no mundo inteiro tornaram-se mais alarmantes do ponto de vista ambiental e econômico, visto que a pandemia impactou as economias locais, além de ampliar a desigualdade social (MAGALHÃES et al., 2021)

Esse cenário foi refletido no contexto científico, por meio de cortes orçamentários e impossibilidades de atividades de campo, sendo um desafio para cientistas do mundo todo, os quais tiveram que readaptar seus estudos e buscar novas formas de continuar, em meio a tantos obstáculos (MAGALHÃES et al., 2021).

Dessa forma, há uma série de fatores que podem impactar os manguezais em áreas urbanas, mesmo com a existência de leis ambientais atuantes sobre o ecossistema, destacando a interferência da infraestrutura urbana nos serviços ambientais. Com isso, o avanço da mancha urbana em áreas de manguezal pode aumentar o risco de contaminantes na água e influenciar em sua qualidade. Além disso, o desmatamento nesse ecossistema pode aumentar a erosão costeira, enfatizada pelo aumento do nível do mar, comprometendo a biodiversidade do local (GOMES et al., 2021).

3.2 CARACTERÍSTICAS E MUDANÇAS NA ESTRUTURA DA PAISAGEM

Xavier et al. (2017) ressaltam que a dinâmica dos manguezais está associada às mudanças globais do clima e do nível do mar. Um exemplo disso é o caso dos manguezais da América do Norte, que devido às mudanças climáticas no final do período Quaternário ocasionou a expansão e a diminuição de algumas áreas de manguezal.

A Região Metropolitana do Recife apresenta uma vasta extensão de área de manguezal, situada, predominantemente, nas margens do Rio Capibaribe e na Bacia do Pina, onde foram registradas as espécies vegetais *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* L. e C. F. G. e *Avicennia schaueriana* S. e L e *Conocarpus erectus* L. (SILVA, 2019).

O manguezal do Recife está inserido na categoria de Unidade de Conservação da Natureza (UCN) e foi criado por meio da lei de uso e ocupação do solo de 1996, sendo regulamentado em 2010. Os fragmentos de mangue mais

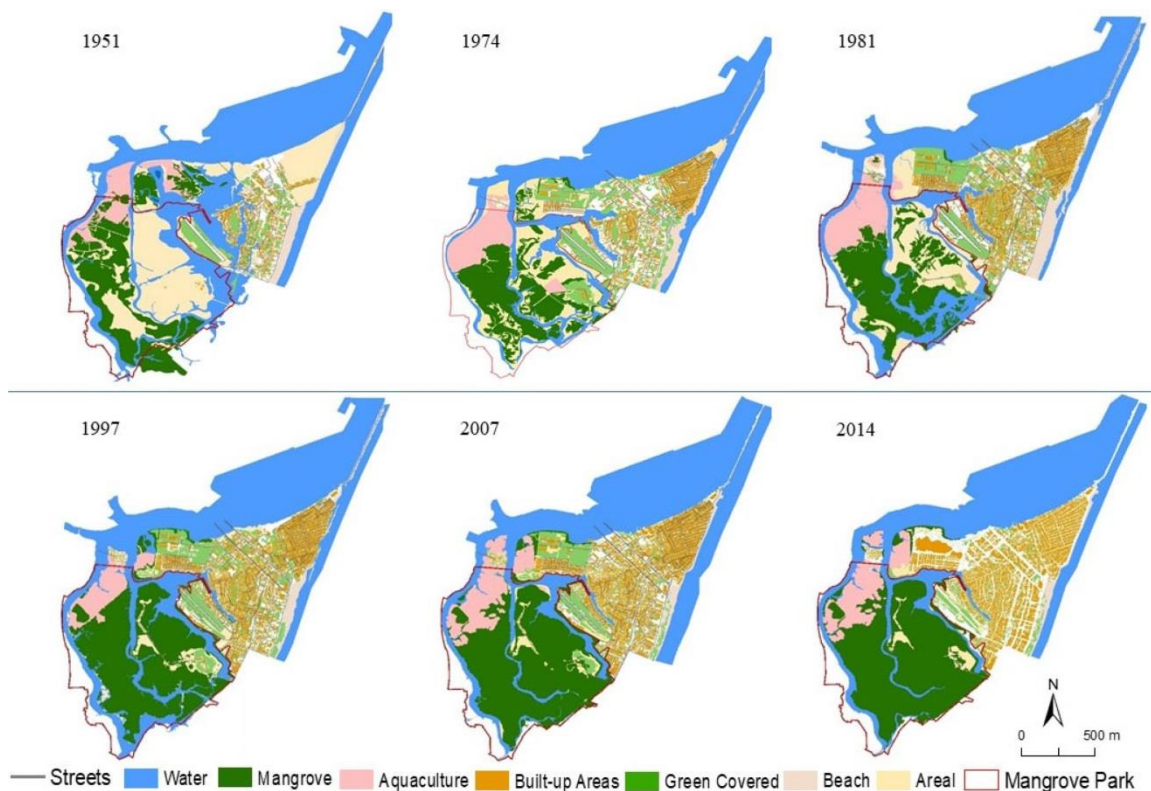
conservados pertencem à área do Parque dos Manguezais, sob a responsabilidade da Marinha do Brasil e da Prefeitura do Recife (RECIFE-PE, 2022).

Em seu contexto histórico, a área de manguezal da cidade de Recife tem passado por várias transformações ao longo dos anos, principalmente com o avanço de áreas urbanizadas e atividades econômicas, como a carcinicultura, o que tem causado o desmatamento do ecossistema ao longo de gerações.

O estuário do Capibaribe foi marcado, ao longo da história, pelos processos de urbanização e industrialização que se iniciaram entre 1630 e 1857. Com a expansão do Porto de Recife, em 1900, houve também o interesse em melhorar a infraestrutura urbana, com a construção de vias de acesso e fábricas nas redondezas do estuário, somando o aumento dos resíduos industriais e domésticos (XAVIER et al., 2017).

Magarotto, Costa e Masanet (2021) apontam que, apesar do aumento do manguezal em áreas de expansão entre 1951 a 2014 (Figura 1), sendo as áreas em expansão a de tonalidade mais clara em tom terroso, também foi observado o aumento da infraestrutura urbana e de atividades econômicas no entorno da área de manguezal, como a aquicultura, influenciando na diminuição e extinção de alguns fragmentos de mangue na porção mais ao norte.

Figura 1- Dinâmica dos fragmentos de mangue do Parque dos manguezais entre 1951 a 2014. Recife, Pernambuco, Brasil. Streets – Ruas; Water – Água; Mangrove – Manguezal; Aquaculture – Aquicultura; Built-up area – Áreas edificadas; Green covered – Cobertura vegetal; Beach – Praia; Areal – Areia; Mangrove Park – Parque dos Manguezais.



Fonte: Magarotto, Costa e Masanet (2021).

O clima da Região Metropolitana do Recife, segundo a classificação de Köppen, é classificado como tropical úmido e quente, com períodos de maior precipitação entre março e agosto, e os períodos mais quentes entre setembro e fevereiro (SOBRINHO; ANDRADE, 2011).

A cidade de Recife possui uma das maiores áreas de manguezal em área urbana do mundo, com rios margeados pelo ecossistema, submetidos ao intenso uso e ocupação humana, sendo uma área afetada pelo desequilíbrio ecológico (ALMEIDA; BETRAME, 2017).

As marés são mistas e semidiurnas, sendo a vazão influenciada pelo período chuvoso no período de maio a agosto. A área de manguezal é cortada por estuários dos rios Capibaribe, Tejiú e Pina (MAGAROTTO; COSTA; MASANET, 2021).

Apesar dos inúmeros benefícios do manguezal para o meio ambiente e para a população humana, estima-se que 50% dos manguezais, em nível global, está sob efeitos de ações antrópicas, com essas ameaças vindas de diversas fontes, como uso e ocupação do solo para aquicultura, desenvolvimento agrícola e expansão da mancha urbana (RHYMA et al., 2020).

3.3 GEOTECNOLOGIAS PARA O MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DO MANGUE

As geotecnologias são apresentadas como um conjunto de técnicas que podem ser utilizadas na obtenção, processamento e análise de dados, com referências geoespaciais, podendo ser utilizadas, principalmente, em ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG) (XAVIER et al., 2017).

Adicionalmente, e considerando a aplicação em ambiente SIG, as geotecnologias constituem uma importante ferramenta, independentemente de visitas *in loco*, permitindo uma prévia análise espacial da área. Tal facilidade e funcionalidade dos SIG, com enfoque ambiental, foram e continuam sendo utilizados por diversas instituições de pesquisa e diversas empresas do setor público e privado, sendo fundamental para a compreensão do espaço (BLASCHKE; LANG, 2009).

A utilização de geotecnologias em estudos ambientais, com enfoque em ecossistemas como os manguezais, que apresentam grande valor ecológico e econômico, atuam como uma prática indispensável para o monitoramento e o diagnóstico da cobertura vegetal, contribuindo para a tomada de decisão pela gestão ou demais entidades públicas.

A COVID-19 é uma doença de origem zoonótica, que surgiu, até onde se tem conhecimento, pela prática do consumo de animais silvestres em uma cidade da China. Esta prática levou ao surgimento de um novo vírus, com alto potencial de contaminação em humanos, resultando em um cenário de pandemia, fazendo com que fossem adotadas medidas mitigadoras para evitar o contágio (XAVIER et al., 2017).

Alguns estudos têm apontado que, apesar dessa doença estar sendo uma preocupação para a saúde humana, foi observado o aumento de dados alarmantes sobre desmatamento em áreas de relevante interesse econômico e ecológico, sendo o período de pandemia uma preocupação adicional para a área ambiental. Só no estado da Amazônia foi observada uma perda de 1.766 km² de floresta em áreas de Unidades de Conservação Estaduais (O GLOBO, 2022).

Blaschke e Lang (2009) destacam o SIG e o sensoriamento remoto como ferramentas holísticas indispensáveis à análise, ao planejamento e à gestão da paisagem, apresentando valiosas contribuições para a tomada de decisão em áreas

prioritárias para a conservação e proteção da biodiversidade, permitindo uma análise, em macro e microescala, em diferentes graus e riqueza de detalhamento.

Sabendo da importância do manguezal e das constantes ameaças naturais e antrópicas, algumas técnicas são necessárias para o monitoramento e diagnóstico do ecossistema, das quais podemos citar a aplicação de técnicas não destrutivas, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto.

3.4 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DO SATÉLITE LANDSAT 5 E 8 E PLANETSCOPE PARA O ESTUDO DA VEGETAÇÃO

A utilização do sensoriamento remoto em ecossistemas como o manguezal fornece uma gama de informações de forma rápida cobrindo uma ampla área de cobertura, na qual se podem obter informações relevantes por meio de modelagens específicas. Os índices de vegetação são responsáveis por fornecer informações relacionadas à biomassa e ao conteúdo hídrico na planta (PURNAMASARI; KAMAL; WICAKSONO, 2021).

Ponzoni, Shimabukuru e Kuplich (2015) apontam que a condição biológica da vegetação está vinculada à resposta espectral, como resultado do fluxo de interação incidente entre a energia luminosa e a vegetação, apresentando uma resposta espectral diferente, a depender do tipo de vegetação (arbórea, monocultura, vegetação de transição, entre outras).

Com o objetivo de fornecer informações espectrais sobre os componentes da paisagem, foram desenvolvidos os satélites Landsat 5 / sensor TM (*Thematic Mapper*) e o Landsat 8 / sensor OLI (*Operational Land Imager*) pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), apresentando sete bandas espectrais para o Landsat 5 e nove bandas para o Landsat 8 (Quadro 1), considerando que, para a superfície vegetada, é observada, preferencialmente, a resposta espectral entre as regiões do vermelho (região do visível) e do infravermelho próximo (Nir - *Near Infrared*).

Quadro 1- Características espectrais do satélite Landsat 5/sensor TM e Landsat 8/sensor OLI

Landsat 5 / sensor TM		
Banda	Região / faixa espectral	Resolução (m)

Banda 1	Azul (0.45-0.52)	30
Banda 2	Verde (0.52-0.60)	30
Banda 3	Vermelho (0.63-0.69)	30
Banda 4	Infravermelho próximo – NIR (0.76-0.90)	30
Banda 5	Infravermelho de ondas curtas - SWIR 1 (1.55 – 1.75)	30
Banda 6	Termal (10.40 – 12.50)	120
Banda 7	Infravermelho de ondas curtas – SWIR 2 (2.08 – 2.35)	30
Landsat 8 / sensor OLI		
Banda	Região / faixa espectral	Resolução (m)
Banda 1	Visível Ultra - Azul (0.43 – 0.45 μm)	30
Banda 2	Visível Azul (0.45 – 0.51 μm)	30
Banda 3	Visível Verde (0.53 – 0.59 μm)	30
Banda 4	Visível Vermelho (0.64 – 0.67 μm)	30
Banda 5	Infravermelho Próximo (0.85 – 0.88 μm)	30
Banda 6	Infravermelho Médio/SWIR (1.57 – 1.65 μm)	30
Banda 7	Infravermelho Médio/SWIR 2 (2.11 – 2.29 μm)	30
Banda 8	Pancromática (PAN) (0.50 – 0.68 μm)	15
Banda 9	Cirrus (1.36 – 1.38 μm)	30

Fonte: USGS (2021).

O *Planetscope* é um sistema de nano satélites mais recentes, que produzem dados por sensoriamento remoto, com alta resolução espacial (3 m) e temporal. Lançado em 2015, o *Planetscope* faz parte do satélite DOVE, onde apresenta quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), com uma resolução radiométrica de 12 bits (Quadro 2) (PURNAMASARI, KAMAL; WICAKSONO, 2021).

Quadro 2- Características espectrais do sistema de satélite *Planetscope*

Banda	Região / faixa espectral	Resolução (m)
Banda 1	Visível azul (0.45 – 0.51 μm)	3
Banda 2	Visível verde (0.50 – 0.59 μm)	3
Banda 3	Visível vermelho (0.59 – 0.67 μm)	3
Banda 4	Infravermelho próximo (0.78 – 0.86 μm)	3

Fonte: *Planetscope* (2021).

O *Planetscope* está sendo cada vez mais utilizado para fins ambientais, como aplicações para o diagnóstico da cobertura da vegetação ou classificação do solo. Além disso, as imagens espectrais do *Planetscope* são utilizadas para fornecer informações sobre os processos hidrológicos e análise espaço-temporal e dinâmica da vegetação (ROY et al., 2021).

3.5 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA O MANGUEZAL

Os índices de vegetação são ferramentas de baixo custo, capazes de coletar e processar informações em um curto período de tempo, sendo uma medida radiométrica de boa precisão para a análise da atividade fotossintética da vegetação. A variação dos índices de vegetação está vinculada aos parâmetros biofísicos da mesma, sendo que, para a vegetação do manguezal, tais índices são utilizados para inúmeras análises, que vão desde o solo até os corpos hídricos e a vegetação propriamente dita (RHYMA et al., 2020).

O estudo da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação é resultado das operações aritméticas entre as bandas, principalmente entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, regiões onde há maior interação da radiação solar nas propriedades espectrais da vegetação. Nesse sentido, estima-se que, quanto mais densa for a cobertura vegetal, menor será a reflectância, em decorrência da ação dos pigmentos fotossintetizantes na absorção de energia na região espectral do vermelho, e maior reflexão na região do infravermelho próximo (PURNAMASARI; KAMAL; WICAKSONO, 2021).

O aquecimento global tem sido um dos principais problemas que afetam, de forma direta e indireta, o manguezal. Fortes emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, induzem o fechamento dos estômatos, quando associadas a altas temperaturas. Dessa forma, o uso de geotecnologias contribui

para analisar a qualidade da vegetação (PURNAMASARI, KAMAL; WICAKSONO, 2021).

3.6 ECOLOGIA DA PAISAGEM PARA ESTUDOS DA COBERTURA VEGETAL

A ecologia da paisagem remete a uma análise geoespacial e estrutural do ambiente, contribuindo para o entendimento da conexão analítica entre os aspectos ambientais e antrópicos, possibilitando o entendimento das ações do ser humano com o meio. O termo “Paisagem” foi desenvolvido no âmbito científico por Alexander Von Humboldt, cientista e ambientalista, tendo a contribuição de outros nomes importantes, como Carl Troll, responsável por inserir uma abordagem geográfica (METZGER, 2001).

Matias et al. (2020) destacam que os estudos envolvendo Ecologia da Paisagem contribuem para identificar o nível de fragilidade ambiental, considerando as condições do ambiente de forma integrada e dinâmica, possibilitando a identificação de áreas que sejam prioritárias para a conservação ou a preservação da biodiversidade. Segundo estes autores, o conhecimento em Ecologia da Paisagem pode auxiliar na tomada de decisão da gestão ambiental, tendo em vista que tal prática contribui para identificar os fragmentos, bem como seu estado de conservação.

O nível de fragilidade ambiental, fundamentado em métricas de Ecologia da Paisagem, é analisado de acordo com as características da estrutura da paisagem negativas para o equilíbrio ambiental e ecológico, podendo causar prejuízos para a manutenção da biodiversidade. Entre as características consideradas negativas, estão a supressão da vegetação, a forma linear da mancha de vegetação, a redução da área núcleo, entre outros, todos considerados fortes indicativos de atuação antrópica (PURNAMASARI, KAMAL; WICAKSONO, 2021).

Considerando esses aspectos, a Ecologia da Paisagem foi aplicada em duas abordagens, a primeira traz uma concepção geográfica, enfatizando as relações homem-natureza, tendo como foco principal as áreas da geografia e disciplinas que buscam entender a gestão territorial de uso e ocupação do espaço (METZGER, 2001).

Segundo o mesmo autor, a segunda abordagem em Ecologia da Paisagem traz uma interpretação voltada para a ecologia, tendo como base a teoria da

biogeografia de ilhas. Nesse sentido, busca entender como os elementos da paisagem estão organizados espacialmente, contribuindo para a análise dos padrões da paisagem.

Dessa forma, entendem-se as métricas de Ecologia da Paisagem como um conjunto de algoritmos responsáveis por quantificar as formas geoespaciais, por meio da aplicação de métricas utilizadas para uma análise da qualidade da mancha, partindo do pressuposto que a perda de vegetação, em decorrência do uso do solo para atividades antrópicas, é um dos principais problemas que interferem na qualidade da mancha.

4 Artigo 1. ¹Índices de Vegetação e Ecologia da Paisagem em Área de Mangue Densamente Urbanizada

Vegetation Index And Landscape Ecology in Densely Urbanized Mangrove Area

Resumo: Os manguezais apresentam fisionomia arbórea com espécies halófitas adaptadas às condições adversas do ambiente, apresentando solo com aspecto lodoso, com altas concentrações de matéria orgânica. Nesse aspecto, o estudo objetiva analisar a qualidade do mangue, considerando a ação de tensores antrópicos. Dessa forma, foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite *Planetscope*, associadas à interpretação da modelagem de métricas da paisagem. Inicialmente, as imagens espectrais foram submetidas à modelagem de correção atmosférica, utilizando o coeficiente específico de cada banda e, posteriormente, aplicado à modelagem dos índices de vegetação vinculados à clorofila ativa e ao conteúdo hídrico. No geral, os índices vinculados à clorofila ativa apresentaram uma variação espectral entre os maiores valores, compatíveis com uma vegetação sadia, em seu estado de maior vigor, e rugosidade da copa. Porém, em alguns pontos no interior dos fragmentos, os índices exibiram uma variação espectral entre os valores mais baixos, indicando superfícies não vegetadas, ou ainda, uma vegetação com menor biomassa, como gramínea ou vegetação fluvial. Ao analisar a condição biológica do mangue, utilizando o *Normalized Difference Water Index*, foi observada a predominância do valor mais baixo, indicando uma ausência de água na superfície foliar. No entanto, este fator pode estar relacionado ao processo de evapotranspiração ou, ainda, à presença de água sob a forma de vapor na superfície foliar. Com relação às métricas em ecologia da paisagem, foi observada uma redução da área total de mangue ao longo dos anos, bem como uma variação no tamanho da área núcleo, influenciando no efeito de borda e na perda de área verde. Contudo, tanto os índices de vegetação, quanto as métricas, indicaram traços de possíveis perturbações antrópicas e desequilíbrio ambiental para a área de mangue, sobretudo para áreas próximas à borda, refletindo em dados eficazes para ações de monitoramento e contribuindo para a gestão. Onde está o COVID19?

Palavras-chave: Correção atmosférica; cobertura vegetal; *Planetscope*; clorofila ativa.

¹ Artigo a ser submetido à Revista Desenvolvimento e Ambiente.

Abstract: Mangroves have an arboreal physiognomy with halophyte species adapted to the adverse conditions of the environment, presenting a muddy soil with high concentrations of organic matter. In this aspect, the study aims to analyze the quality of the mangrove, considering the action of anthropic stressors. Multispectral images from the Planetscope satellite were used for the interpretation of landscape metrics modeling. Initially, the spectral images were subjected to atmospheric correction modeling using the specific coefficient of each band. Then the modeling of vegetation indices linked to active chlorophyll and water content was applied. Overall, the indices related to active chlorophyll showed a spectral variation between the highest values, compatible with healthy vegetation in its most vigorous state, and canopy roughness. However, in some points inside the fragments, the indices showed a spectral variation among the lowest values, indicating non-vegetated surfaces or even the vegetation of lower biomass, such as grasses or river vegetation. When analyzing the biological condition of the mangrove by *Normalized Difference Water Index*, the predominance of the lowest value was observed, indicating the absence of water on the leaf surface. However, this factor may be related to the evapotranspiration process or even water in vapor form. The metrics in landscape ecology showed a reduced total area of mangrove over the Years; a variation in the core area size influenced the edge effect and the loss of green area. However, the vegetation indices and the metrics indicated traces of possible anthropic disturbances and environmental imbalance in the mangrove area, especially in areas near the edge, reflecting adequate data for monitoring and management actions.

Keywords: Atmospheric correction; vegetation cover; Planetscope; active chlorophyll.

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas estabelecidos na linha costeira e oferecem vários serviços ambientais à comunidade biológica, dependendo da condição do manguezal, no desempenho de suas funções vitais, além de atuar na proteção contra desastres naturais. Além disso, o ecossistema é responsável por abrigar uma vasta gama de biodiversidade florística e faunística, com elevado valor ecológico para as comunidades costeiras (BALOLOY et al., 2020).

As florestas de mangue são conhecidas por sua alta produtividade, apresentando quantidades significativas de nitrogênio e fósforo, os quais ficam retidos no sedimento do manguezal e são de suma importância para a manutenção de ecossistemas adjacentes (TRUJILLO et al., 2020). O solo do manguezal é típico do ecossistema, sendo composto por argila e silte, combinado com matéria orgânica e sais. Outra característica de destaque é a predominância de nutrientes no solo, principalmente com a presença de nitrogênio, fósforo e ferro, responsáveis por influenciar na estrutura e na produtividade do ecossistema (BALOLOY et al., 2020).

No Brasil, os manguezais encontram-se nas áreas tropicais, apresentando condições ambientais específicas para a manutenção das espécies da fauna e flora, sendo o substrato frequentemente inundado pelo fluxo das marés, influenciando na variação da salinidade. Ressalta-se que ecossistemas como os manguezais são considerados de alta complexidade ambiental, devido à sua diversidade funcional, sendo resistente às perturbações naturais e de origem antrópica (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

A cobertura vegetal apresenta inúmeros benefícios à população humana e ao meio ambiente, principalmente quando comparada a uma área densamente urbanizada. A vegetação contribui para o conforto térmico, a filtragem do ar, a manutenção dos corpos hídricos, a proteção do solo contra erosão, entre outros, sendo indispensável às diversas formas de vida (PURNAMASARI, KAMAL; WICAKSONO, 2021).

Vale salientar que, em relação à influência antrópica, as florestas de mangue, quando somadas às condições ambientais, que são altamente variáveis ao longo do ano, apresentam uma interação entre os aspectos ambientais e o efeito dos tensores antrópicos, considerando as características estruturais e funcionais das espécies vegetais presentes no bioma (SOARES et al., 2006).

Soares et al. (2006) ressaltam que o tensor antrópico de maior impacto aos ecossistemas, sobretudo os manguezais, é aquele que atinge, direta ou indiretamente, a fonte e o fluxo de energia até o sistema, e destacamos a diminuição no aporte de água doce, a influência na variação da maré, as condições físico-químicas da água, entre outros.

Entre os acidentes que frequentemente causam perturbação ambiental aos ecossistemas costeiros está o óleo, podendo citar a tragédia mais recente ocorrida em agosto de 2019, no Nordeste brasileiro, atingindo algumas áreas da zona costeira do estado da Paraíba (ARAÚJO; RAMALHO; MELO, 2020).

Vale salientar que acidentes de origem antrópica, como foi o derramamento de óleo na costa do nordeste brasileiro, são tensores antrópicos de maior impacto nos ecossistemas, sobretudo manguezais, onde pode ocasionar a morte massiva dos indivíduos vegetais ao longo dos anos, além de afetar toda a comunidade biológica de forma sistêmica (SOARES et al., 2006). Estes autores destacam que a presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), em solo de manguezal, é um fator degradante, e que sua persistência no meio atua como tensor e que esses aspectos podem prolongar os efeitos danosos para o manguezal e retardar a recuperação do ecossistema.

Entre alguns problemas resultantes da degradação causada por fatores antrópicos no estado de Pernambuco, em áreas de manguezais, podemos citar o aumento da expansão urbana, o desmatamento, a terraplenagem, o descarte de resíduos domésticos e industriais, entre outros (MELO; SILVA, 2018).

Dessa forma, o estudo objetiva avaliar a qualidade da vegetação de mangue, considerando a ação de tensores antrópicos sobre o ecossistema, durante a pandemia do COVID19, em uma área situada em uma região densamente urbanizada, submetida a diversas ameaças de interferência antrópica, fornecendo informações relevantes para a gestão e o monitoramento do mangue.

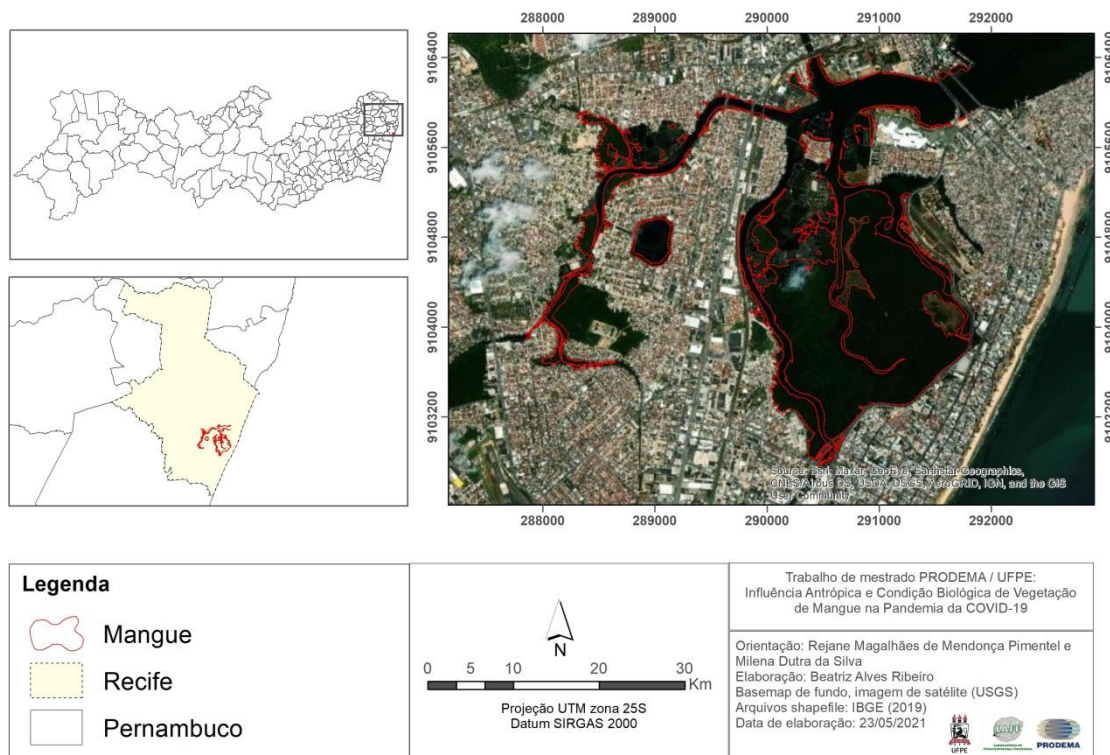
2 METODOLOGIA

Área de estudo

O mangue em estudo encontra-se localizado na zona costeira do Recife, capital de Pernambuco (Figura 1), estabelecido entre os bairros de Boa Viagem e Pina, com fragmentos de vegetação mais próximos à costa, e entre os bairros Jiquiá

e Imbiribeira, com fragmentos mais no interior do continente, considerando que esses fragmentos estão inseridos na categoria de Unidade de Conservação Municipal.

Figura 1- Localização de fragmentos de mangue em Recife, Pernambuco, Brasil



Fonte: A autora (2021).

O clima da capital é quente e úmido, com maiores picos de precipitação durante os meses de abril a julho, apresentando solos hidromórficos, característicos de manguezal e areias quartzosas (RIMA/PE, 2009).

A composição arbórea do mangue está constituída pelas espécies *Rhizophora mangle* (L.) nas áreas mais próximas ao mar, *Avicennia schaueriana* (S. e L.) e *Laguncularia racemosa* (L. e C. F. G.) mais próximas de áreas com menos concentrações de salinidade (SILVA, 2019).

2.1 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS MULTIESPECTRAIS DE SATÉLITE

Na caracterização dos fragmentos de mangue foi considerada a fotointerpretação da área de estudo, utilizando o visualizador de satélite do *software*

gratuito *Google Earth Pro*, utilizado para a vetorização dos fragmentos, salvos em extensão kml e convertidos para a extensão *shapefile* no ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando a versão teste do *software* Arcgis (Licença Universitária Free).

Na análise da condição biológica da vegetação foram determinados índices de vegetação específicos, vinculados à clorofila ativa e ao conteúdo hídrico. Primeiramente, foi obtida, gratuitamente, a cena espectral da área de estudo no *site* oficial do *Planetscope*, correspondente ao dia 24/08/2020, em formato GeoTiff (ROY, 2021).

A cena obtida foi em composição RGB (red, green e blue), sendo necessário extrair as bandas para a modelagem matemática de correção atmosférica. No primeiro momento foi realizada a correção radiométrica das bandas, multiplicando cada uma pela escala de fator radiométrica 0.1. Posteriormente, seguiu-se a correção atmosférica, multiplicando cada banda pelo seu coeficiente específico (Tabela 1), seguindo as informações disponibilizadas nos metadados da cena.

Tabela 1- Coeficientes para a correção atmosférica das bandas do satélite *Planetscope*

Coeficiente	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
	2039942,91	2159557,46	2410223,19	3617976,80

Fonte: *Planetscope* (2021).

2.2 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (CLOROFILA ATIVA E CONTEÚDO HÍDRICO NA PLANTA)

As cenas foram submetidas a modelagem de correção atmosférica, na qual foi aplicada a Equação 1.

$$\rho\lambda = Mp * Qcal + AP \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde $\rho\lambda$ = valor de Reflectancia para o Topo da Atmosfera (TOA); Mp = Parâmetro do Metadados da Imagem (Reflectance_Mult_Band); $Qcal$ = Banda de satélite que será utilizada para a correção e Ap = Parâmetro do metadados da imagem (Reflectance_Add_Band).

Considerando a determinação da qualidade da vegetação, relativa aos índices relacionados à clorofila ativa, foi aplicada a modelagem matemática do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI),

Enhanced Vegetation Index (EVI) e *Atmospherically resistant vegetation index (ARVI)* (Quadro 1). Quanto à determinação da qualidade da vegetação, considerando o IV relacionado ao conteúdo hídrico na planta, foi utilizada a modelagem do *Normalized Difference Water Index (NDWI)* (Quadro 1).

Quadro 1. Informações metodológicas sobre os índices de vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*, *Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI*, *Enhanced Vegetation Index - EVI*, *Atmospherically resistant vegetation index - ARVI*, *Normalized Difference Water Index - NDWI*) relacionados à clorofila ativa e conteúdo hídrico na vegetação

Índice	Fórmula	Referência
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse et al., (1973)
SAVI	$SAVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.1)}$	Huete (1988)
EVI	$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7,5 \times BLUE + 1)}$	Huete et al., (2002)
ARVI	$ARVI = \frac{(NIR - (RED - 1 \times (blue - RED)))}{(NIR + (RED - 1 \times (BLUE - RED)))}$	Kaufman et al., (1992)
NDWI	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	McFeeters (1996)

Fonte: Ponzoni et al. (2015) (Adaptado por RIBEIRO, 2021).

2.3 ANÁLISE TEMPORAL DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E MÉTRICAS DA PAISAGEM

Para a análise de uso e ocupação do solo foram adquiridas imagens espectrais do satélite Landsat 5 (sensor TM) e 8 (sensor OLI), correspondentes aos dias 06/09/2010, 24/08/2017 e 13/06/2020, por meio do geocatálogo do site USGS (*United States Geological Survey*). Foi critério para a seleção das imagens, a cena com menor nebulosidade, tendo em vista que regiões costeiras são mais propícias à interferência de nuvens.

Após a aquisição das imagens espectrais foi gerada a composição RGB, em composição falsa-cor, para a cena de cada ano, visando o reconhecimento dos alvos na paisagem. Em seguida, foi gerada a classificação supervisionada, em que foram coletadas amostras de cada classe, utilizando a ferramenta *Training Sample Manager*, visualizadas pela fotointerpretação da área, processamento e confecção do mapa de uso, em ambiente SIG, com o software Arcgis (Licença Universitária Free).

As análises dos índices de Ecologia da Paisagem foram realizadas por meio de métricas aplicadas à mancha de vegetação do mangue (Quadro 2), sendo a mancha extraída dos dados gerados na classificação supervisionada de uso e ocupação do solo relativa aos anos 2010, 2017 e 2020. Tais manchas foram selecionadas e inseridas em uma nova camada vetorial para a aplicação das métricas correspondentes à área, à área núcleo, à borda e à forma da mancha.

Quadro 2. Modelagem para análise da Ecologia da Paisagem. 1) *Number of Patches* (NP), 2) *Class Area* (CA), 3) *Total Class Core Area* (TCA), 4) *Core Area Index* (CAI), 5) *Total Edge* (TE), 6) *Mean Patch Edge* (MPE), 7) *Mean Shape Index* (MSI), 8) *Mean Perimeter Area Ratio* (MPAR)

Área		Área núcleo		Borda		Forma	
NP	CA	TCA	CAI	TE	MPE	MSI	MPAR
$NP = n_i$	$AREA = 0,5 \cdot \sum (x_{i+1} - x_i) (y_{i+1} - y_i)$	$CY = \frac{NP - N}{NCA}$ $CAI = 0$		$PERIM = \sum \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$		$SHAPE = \frac{p}{\sqrt{\pi} \cdot a^2}$	

Fonte: Blaschke e Lang (2009).

As modelagens foram aplicadas no *software* Arcgis utilizando a ferramenta de extensão V-LATE, e os resultados obtidos em tabelas no formato txt e exportados para o programa Excel, no qual foram calculadas a média e o desvio padrão de cada métrica obtida.

Para a obtenção das métricas, inicialmente foram calculadas a área e o perímetro dos fragmentos. Os valores de *Number of patches* – número de manchas (NP) indicam quantas manchas (polígonos) existem no total de cada classe, enquanto a *Class area* (CA) indica o tamanho total da área da classe.

Considerando a área núcleo, os valores foram indicados pelo *Total class core area* – Área núcleo total remanescente (TCA) e *Core area index* – índice de áreas núcleo (CAI), sendo os valores obtidos subtraídos da borda (50 m) da área total dos fragmentos, sendo esse valor mais utilizado para áreas de manguezal (BLASCHKE; LANG, 2009).

As bordas foram analisadas utilizando as métricas *Total edge* – soma das bordas (TE) e *Mean patch edge* – comprimento médio da borda (MPE), considerando o valor de 50 m, partindo do pressuposto que as bordas são variáveis e que fragmentos irregulares podem apresentar um maior valor dessas métricas,

implicando em um efeito de borda e, conseqüentemente, prejudicando o equilíbrio ambiental e a biodiversidade (BLASCHKE; LANG, 2009).

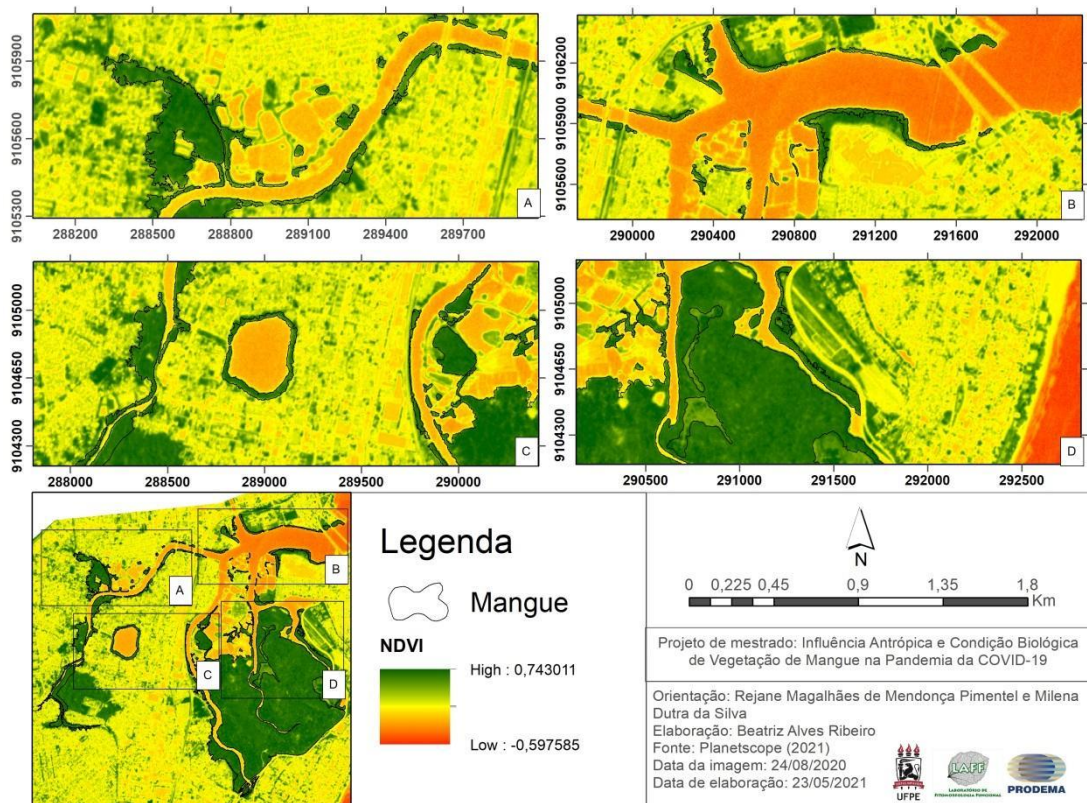
Com relação à forma da mancha, esta foi determinada pelos valores de área e de perímetro, estabelecidas pela aplicação das métricas (MSI – *Mean shape index* – índice médio de forma) e MPAR (*Mean perimeter area ratio* – razão média do perímetro pela área). Estes índices contribuem para a avaliação da complexidade da mancha, sendo os valores mais próximos a 1 correspondentes à forma circular e próximos da feição padrão; os valores inferiores a 1 indicam uma forma irregular da mancha. Dessa forma, o índice MPAR ressalta a relação entre esses dois parâmetros, indicando valores geralmente menores que 1, e quanto mais próximos forem de 0, mais compacto é o fragmento da mancha (BLASCHKE; LANG, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índices de vegetação vinculados à clorofila ativa na planta

Ao analisar os fragmentos de mangue de Recife, com relação ao NDVI (Figura 2), observa-se uma predominância do valor mais alto do índice (0,743) para a vegetação de mangue. Sabendo que o NDVI varia entre -1 a 1, os valores mais próximos a 1 indicam uma condição de vegetação sadia com valores positivos, enquanto valores negativos indicam superfícies não vegetadas, como solo exposto, corpo hídrico e nuvens (SANTOS; BELTRÃO; TRINDADE, 2019).

Figura 2- Mapa indicando a estimativa do *Normalized Difference Vegetation Index* no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020



Fonte: A autora (2021)

Nesse sentido, nota-se que, em relação às áreas de mangue, o valor mais alto do NDVI (0,743) é compatível com as características dos indivíduos vegetais que compõem o ecossistema, apresentando uma estrutura foliar com adensamento de células do parênquima paliçádico.

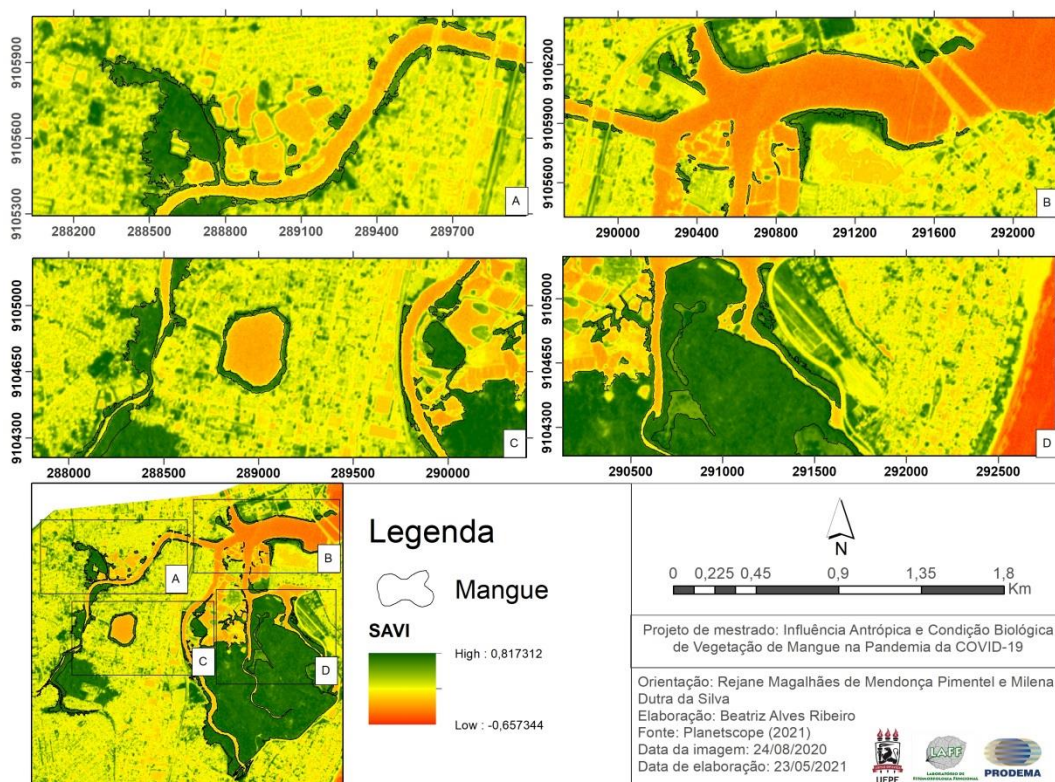
Ponzoni et al. (2015) ressaltam a importância do NDVI para a caracterização de diferentes tipologias vegetais, sendo os valores mais altos do índice correspondentes à cobertura vegetal, quanto ao maior vigor e rugosidade da copa.

Alguns pontos no interior do mangue e próximos à borda do fragmento, principalmente nas manchas mais reduzidas de vegetação, foram observadas variações de valores mais baixos (0,743). Apesar dos valores negativos caracterizarem solo exposto ou corpo hídrico, o mesmo vale para valores que são positivos, porém muito próximos ao valor negativo, podendo indicar áreas mais susceptíveis à influência de tensores ambientais ou antrópicos (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017).

Considerando o SAVI, foi observada, para a maioria dos fragmentos de mangue, a predominância do valor mais alto do índice (0,817), tendo em vista que os valores do SAVI podem variar entre -1 a 1. Os valores mais altos corresponderam

à vegetação em seu estágio de maior vigor e rugosidade da copa, semelhante à análise do NDVI e, partindo do pressuposto que o SAVI foi elaborado a partir da integração do NDVI, com o intuito de realçar a vegetação densa, amenizaram os efeitos do brilho no solo (Figura 3).

Figura 3- Estimativa do *Soil Adjusted Vegetation Index* no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020



Fonte: Planetscope, (2020).

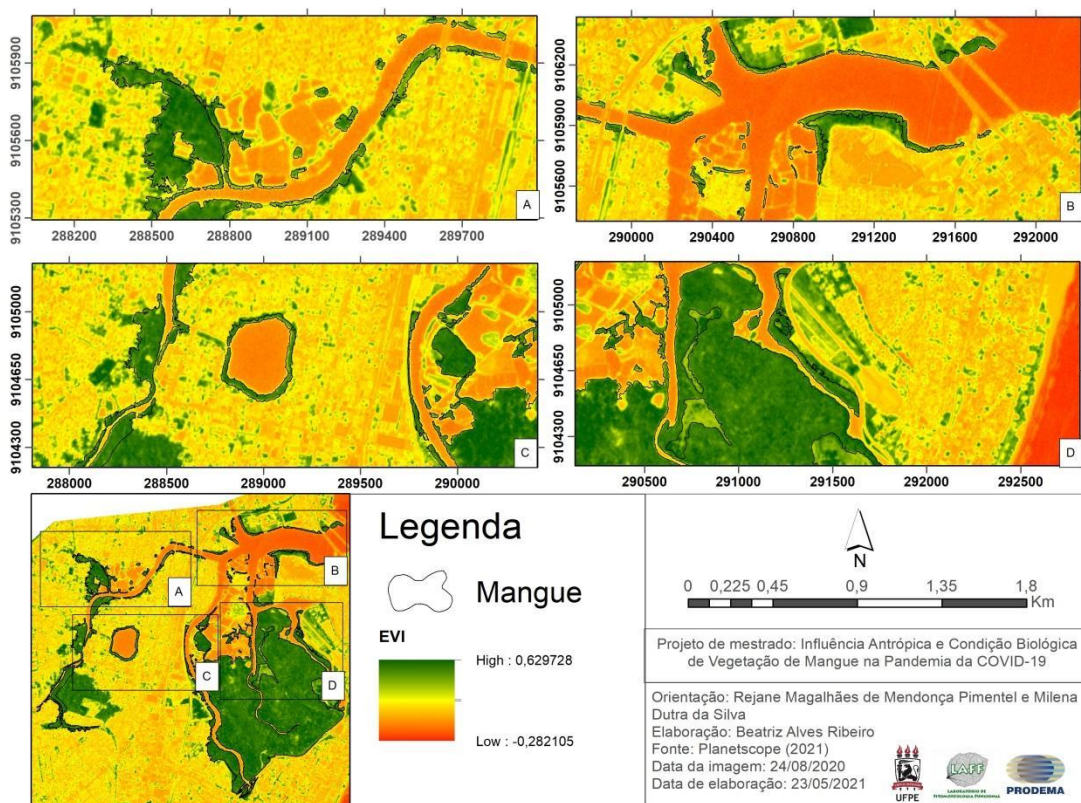
Apesar da predominância do valor mais alto do SAVI para as áreas de mangue, foi constatado que as áreas que apresentaram valores inferiores a 0,817 foram as mesmas apontadas pelo NDVI, em seus valores mais baixos, o que foi realçado pelo SAVI, confirmando a existência de áreas com solo exposto no interior do fragmento, sobretudo nas regiões próximas à borda. Nesse aspecto, entende-se que quanto mais próximos a zero forem os valores do SAVI, maior será a indicação de solo exposto em resposta ao efeito “background”, caracterizando a cobertura vegetal com uma maior densidade e amenizando o efeito da alta reflectância do solo (EID et al., 2020).

A presença de solo exposto em áreas no interior do fragmento de mangue reflete em áreas de clareira (desmatadas) ou com diferente tipo de vegetação, como gramíneas, permitindo maior exposição aos efeitos ambientais na vegetação do entorno.

Ao analisar a condição biológica do mangue, considerando o EVI (Figura 4), observa-se uma predominância do valor mais alto (0,629). No entanto, em algumas áreas próximas à borda, com valores mais baixos, negativos ou próximos ao negativo (-0,282), indicaram uma maior incidência de solo exposto, sendo a água realçada por valores negativos (SHAMMI; MENG, 2021).

Existem vários estudos utilizando o NDVI e o EVI para acompanhar o crescimento vegetativo, em escala multi-temporal, devido à sensibilidade dos dois índices para a cobertura vegetal, em seu estágio de maior vigor e densidade da copa, característica por apresentar formação florestal com indivíduos vegetais adultos.

Figura 4- Estimativa do *Enhanced Vegetation Index* no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020

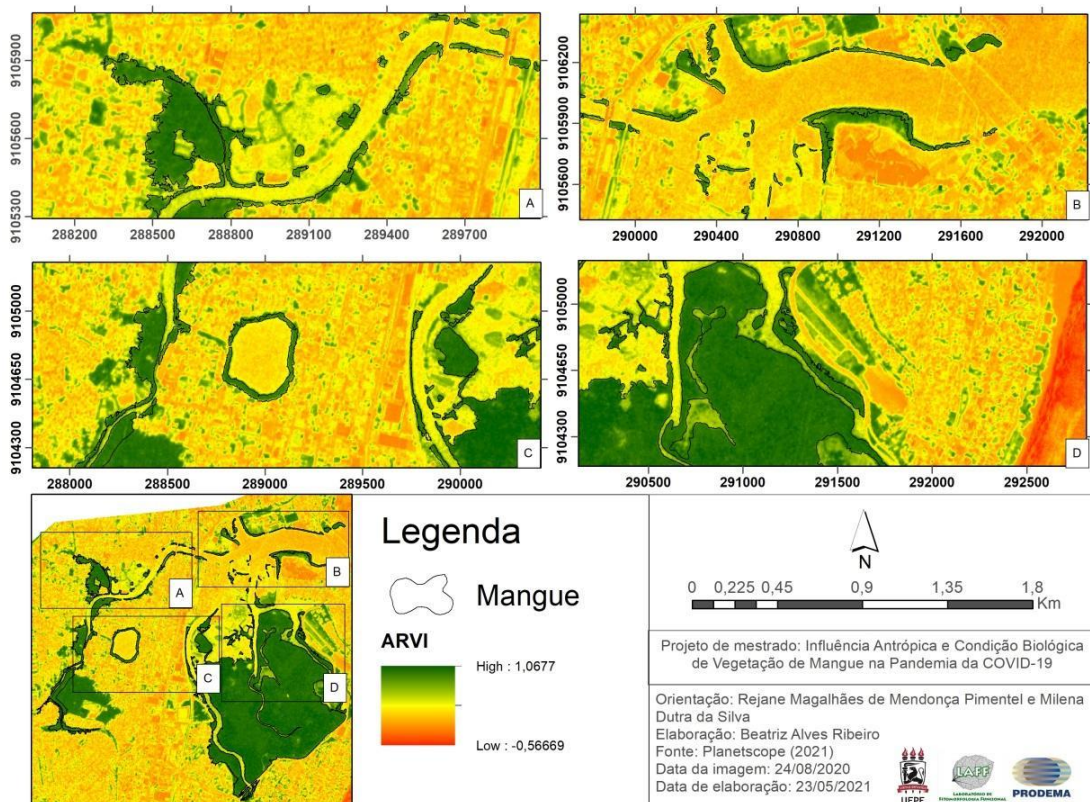


Fonte: A autora (2021).

O valor mais baixo ou negativo (-0,282), presente em algumas áreas dos fragmentos, indica a presença de solo desnudo, considerando o ecossistema em estudo. Além disso, os valores mais baixos e positivos (próximos a -0,282) podem indicar a influência de vegetação fluvial (FURLAN, 2020).

Ao analisar a condição biológica da vegetação do mangue, com relação ao ARVI (Figura 5), foi observada a predominância do valor mais alto para os fragmentos (1,067). Desenvolvido a partir do NDVI, o ARVI é mais sensível à atmosfera, podendo variar entre -1 a +1, sendo utilizado para estimar a influência dos efeitos atmosféricos na cobertura vegetal, principalmente em áreas densamente urbanizadas, que estão constantemente sob a influência de poluição, ação dos ventos, variação de chuva, de clima, entre outros (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

Figura 5- Estimativa do *Atmospherically resistant vegetation index* no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Data da imagem: 24/08/2020



Fonte: A autora (2021).

O valor mais alto do ARVI indica a cobertura vegetal em condições saudáveis e em seu maior estado de vigor vegetativo, enquanto os valores mais baixos e

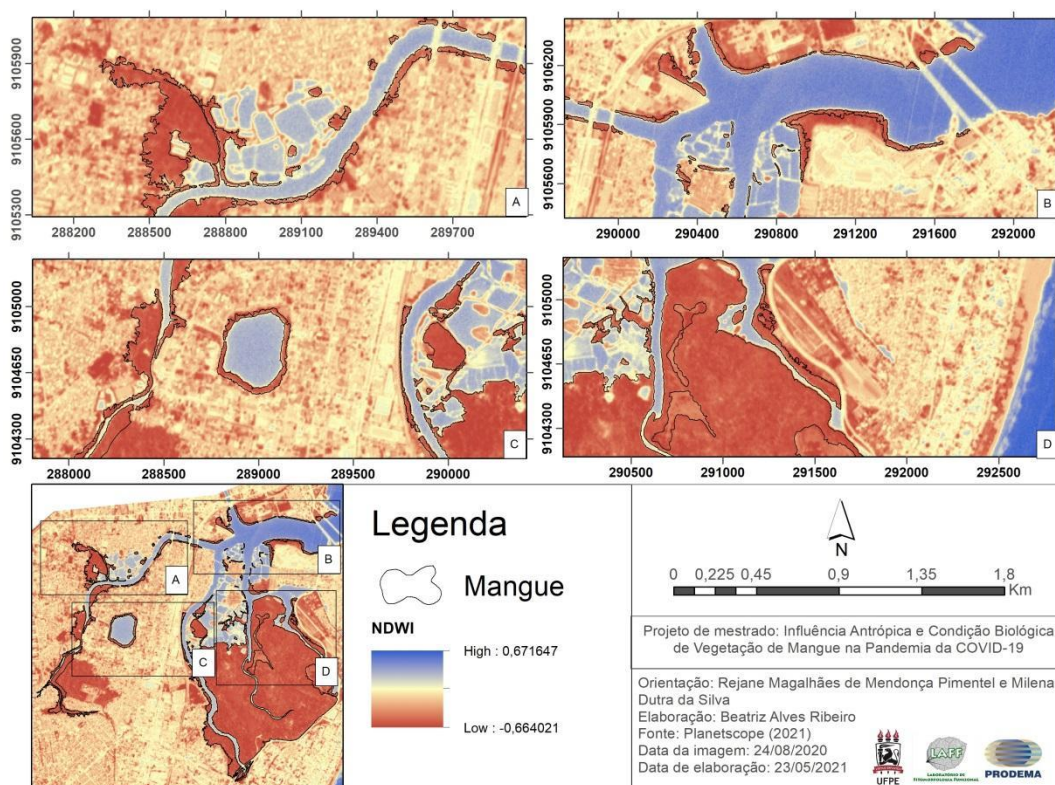
positivos indicam vegetação sob efeito de alguma perturbação antrópica, ou ainda, menor quantidade de tecidos fotossinteticamente ativos (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

Algumas áreas no interior dos fragmentos, que exibiram o valor próximo ao negativo pelo índice (-0,566), podem estar vinculadas às áreas com maior influência de tensores atmosféricos, principalmente por serem áreas próximas à borda dos fragmentos, tendo em vista que são mais propícias às condições do ambiente ou às ações antrópicas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

Índice de vegetação vinculado ao conteúdo hídrico

Ao analisar a condição biológica da vegetação de mangue, com relação ao NDWI, percebe-se que a maioria dos fragmentos exibiu a predominância do valor negativo do índice (-0,664), indicando a ausência de água na superfície da folha (Figura 6).

Figura 6- Estimativa do *Normalized Difference Water Index* no mangue do Recife, Pernambuco, Brasil. Imagem: *Planetscope*. Data da imagem: 24/08/2020



Fonte: A autora (2021).

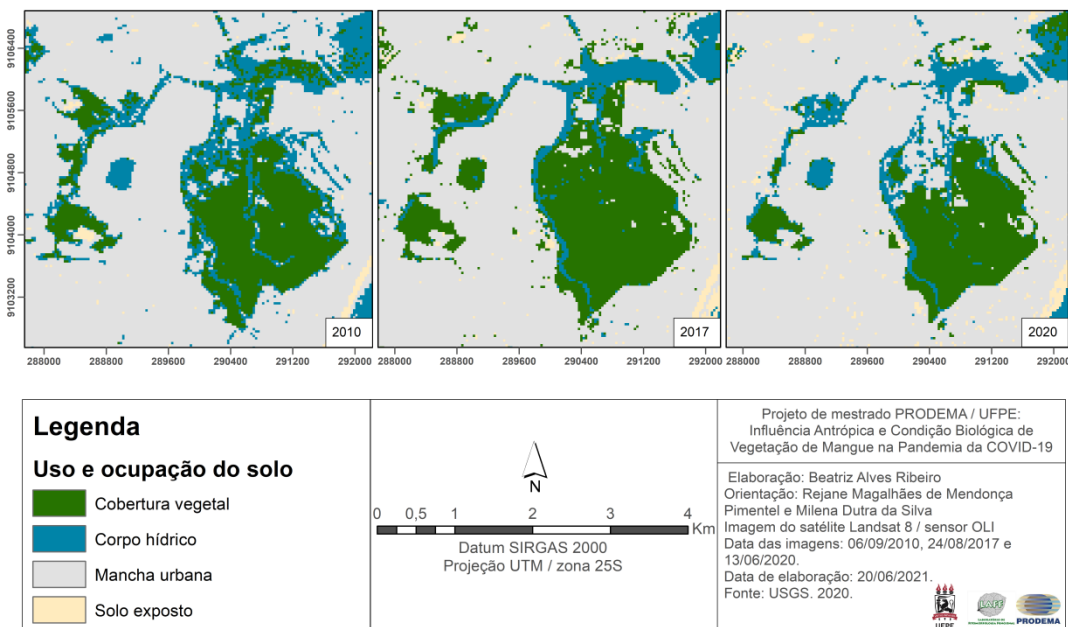
Apesar da predominância dos valores mais baixos do NDWI nas áreas de vegetação mangue, indicando ausência de água na superfície foliar, muitos estudos relacionam o NDVI com o NDWI devido ao conteúdo hídrico na planta ser um fator que influencia no estado de vigor da cobertura verde. Segundo Pereira et al. (2020), os valores mais baixos podem estar vinculados a uma perturbação antrópica, a uma área com solo exposto ou com vegetação rasteira, constituindo áreas de difícil recuperação, frente ao tensor.

Vale ressaltar que, embora o índice tenha apresentado um valor negativo (-0,664) para as áreas de mangue, existe a possibilidade de a água estar sob a forma de vapor na superfície foliar, sendo indetectável pelo NDWI ou, ainda, a vegetação estar em pleno processo de evapotranspiração, considerando que a resposta espectral do índice na área de estudo está sob a influência dos rios Jiquiá, Pina e uma área de mangue no entorno da Lagoa do Araçá.

Uso e ocupação do solo e ecologia da paisagem

Considerando a análise dos componentes da paisagem, foram identificadas as seguintes classes na área de manguezal na cidade de Recife-PE: cobertura vegetal, corpo hídrico, mancha urbana e solo exposto (Figura 7). Na caracterização da área de mangue (considerando os conflitos de classe entre o ecossistema e as espécies utilizadas para a arborização urbana) foi utilizada como base a área vetorizada, manualmente, gerando uma camada única para a área de mangue, relativa aos anos 2010, 2017 e 2020.

Figura 7- Mapa com a classificação supervisionada da área de manguezal, Recife, Pernambuco, Brasil



Fonte: A autora (2021).

Uma supressão da área de cobertura vegetal foi observada ao longo dos anos, principalmente entre 2017 e 2020. Esse fator pode estar vinculado ao aumento das atividades antrópicas, principalmente em um período posterior à implementação da Via Mangue, partindo do pressuposto que Recife é uma área com recorrentes transformações espaciais por ações antrópicas, com abertura de avenidas e construção de vias, implicando no aumento da ocupação ilegal de áreas não prioritárias à urbanização formal (CAMPOS, 2015).

Foram aplicadas as métricas relacionadas à área, à área núcleo, à borda e à forma da vegetação de mangue (Tabela 2). Nesse aspecto, houve uma redução de 22, 1 km na área total (CA) de mangue entre os anos 2010 e 2017, passando de 96, 08 km para 73, 98 km de CA e 5, 1 km na área de mangue entre os anos 2017 e 2020, passando de 73, 98 para 68,88 km de total CA, ambas com variação do número de fragmentos insignificantes (NP), com fragmentação nula.

Tabela 2- Valores das métricas da paisagem relacionadas ao mangue, Recife, Pernambuco, Brasil. (NP - Number of Patches, CA - Class Area, TCA - Total Class Core Area, CAI - Core Area Index, TE - Total Edge, MPE - Mean Patch Edge, MSI - Mean Shape Index, MPAR - Mean Perimeter Area Ratio)

Ano	Área (km)		Área núcleo (km)		Borda (m)		Forma	
	NP	CA	TCA	CAI (%)	TE	MPE	MSI	MPAR

2010	53	96,079	45,359	4,333	1,381	1,381	1,54 7	0,078
σ	-	407,561	258,88 4	0,004	3,562	3,562	0,63 5	0,047
2017	51	73,986	40,910	3,980	988,160	988,160	1,50 5	0,080
σ	-	362,746	258,89 3	0,003	2,429	2,429	0,40 5	0,052
2020	54	68,880	38,754	0,002	897,115	897,115	1,44 6	0,079
σ	-	363,185	257,92 1	0,011	2,390	2,390	0,40 4	0,043

Fonte: A autora (2021).

Considerando a área núcleo, foi observada perda no seu tamanho total (TCA) de 4,44 4,44 km de TCA entre os anos 2010 e 2017, passando de 45,35 para 40,91 km de TCA e uma redução de 2,16 km de TCA entre 2017 e 2020, passando de 40,91 para 38,75 km de TCA. Matias et al. (2020) destacam que o TCA é um forte indicativo de qualidade da área total, sendo vinculado à forma e à borda dos fragmentos.

Dessa forma, o resultado do TCA pode estar indicando uma possível diminuição da complexidade biológica e da biodiversidade de espécies encontradas nos fragmentos, sendo as áreas de borda reduzidas aquelas que estão mais sob o efeito de borda, considerando que as espécies que são sensíveis às condições ambientais da borda serão prejudicadas por não obterem êxito no estabelecimento e sobrevivência, em ausência de área-núcleo (CALEGARI et al., 2010).

Ao analisar a métrica total da borda (TE), houve uma redução de 392,84 m entre os anos 2010 e 2017, passando de 1.381 para 988,16 m e uma redução de 91,05 m entre os anos 2017 e 2020, passando de 988,16 para 897,11 m. Considerando o comprimento médio da borda da mancha (MPE) de igual valor para todos os anos, se confirma o valor total da borda.

Blaschke e Lang (2009) destacam que os valores mais altos de borda, como o TE ou o MPE, podem estar vinculados ao desequilíbrio ambiental, visto que este

fator está relacionado a fragmentos irregulares, sendo algo negativo em termos de conservação, estando os valores mais baixos relacionados aos fragmentos mais compactos.

Ao observar as métricas relativas à forma, nota-se que, em todos os anos, os valores foram semelhantes e pouco distantes de 1, indicando formas pouco irregulares. Dantas et al. (2017) destacam que formas mais regulares são menos susceptíveis ao efeito de borda, por estarem mais próximas do formato circular, minimizando a relação área-borda.

Dessa forma, apesar da redução de área de mangue ao longo dos anos, usando as métricas da paisagem, a vegetação foi pouco afetada pelo processo de fragmentação de área natural. Porém, a redução de área núcleo, ao longo dos anos, contribui para uma maior influência do efeito de borda, por estar em contato direto com a matriz, contribuindo para o desequilíbrio ecológico.

Ressalta-se que a perda de habitat provoca uma diminuição na interação da comunidade biológica e no fluxo gênico entre as espécies, podendo causar o risco de extinção. Além disso, um dos efeitos da perda de área verde está vinculado, tanto aos processos de urbanização, quanto ao uso histórico da área de mangue para atividades pesqueiras, como a carcinicultura e a piscicultura.

4 CONCLUSÃO

O uso de geotecnologias aplicadas ao estudo da vegetação implica em um conjunto de técnicas eficazes para o monitoramento e o diagnóstico da cobertura vegetal, sobretudo no manguezal. Sabendo disto, é possível identificar possíveis perturbações no interior da paisagem, decorrentes do uso inadequado do solo pela ação antrópica.

Nesse aspecto, o conhecimento de técnicas em ecologia da paisagem associadas às geotecnologias constitui uma importante ferramenta para a gestão ambiental e a geração de dados a serem utilizados em várias aplicações, contribuindo para a obtenção de dados e informações importantes para o meio ambiente.

No geral, os IVs vinculados à fotossíntese ativa apresentaram, para a maioria dos fragmentos de mangue, os maiores valores dos índices, indicado a presença de tecidos fotossinteticamente ativos, apresentando uma resposta espectral compatível

com uma vegetação sadia. Porém, os valores negativos indicam que algumas áreas podem estar sob a influência antrópica, sobretudo nas áreas de borda e em manchas mais lineares, tornando a vegetação mais sensível aos fatores ambientais ou antrópicos.

As áreas que apresentaram os valores mais baixos dos IVs vinculados à clorofila (NDVI, SAVI, EVI e ARVI) podem ser explicadas em função das diferentes tipologias vegetais presentes no interior dos fragmentos ou, ainda, da vegetação em diferentes estádios de desenvolvimento (plantas jovens < concentração de biomassa e tecidos fotossinteticamente ativos), destacando pequenas modificações do relevo, densidade da copa, entre outros.

Com relação ao índice vinculado ao conteúdo hídrico na planta, foi observada a predominância do valor negativo do NDWI, indicando a ausência de água no conteúdo intracelular (NDWI), implicando em condições desfavoráveis de hidratação. Porém, visto que a área de mangue se encontra próxima a corpos hídricos, essa resposta espectral pode estar vinculada à presença de água, sob a forma de vapor, nas estruturas foliares.

Ao relacionar os IVs com as métricas em ecologia da paisagem, foi possível analisar que as áreas no interior dos fragmentos que apresentaram algum tipo de estresse ou perturbação atmosférica, em função dos valores mais baixos dos índices, estão em áreas próximas à borda dos fragmentos, considerando que, em termos de área total do mangue, foi notada uma supressão da cobertura vegetal, ao longo dos anos, e uma redução da sua área núcleo, influenciando no efeito de borda.

Pela observação dos aspectos analisados, pode-se concluir que, apesar dos índices e das métricas apresentarem valores compatíveis com uma vegetação saudável e manchas pouco sinuosas, em algumas áreas no interior dos fragmentos de mangue, sobretudo aqueles próximos à borda e em manchas mais lineares e alongadas, foi encontrada uma resposta espectral compatível com uma vegetação em condição de estresse, remetendo a quadros de fragilidade ambiental.

Em virtude disto, recomenda-se atenção para os pontos que apresentaram sinais de possíveis perturbações, considerando que se trata de um ecossistema de importância econômica e ecológica inserido como uma área prioritária de

preservação, sendo os dados apresentados como subsídios para a gestão e tomada de decisão, visando a mitigação desses efeitos.

5 Artigo 2: Manguezal em Espaços Urbanos: O Mangue na Pandemia da Covid-19

Mangrove in Urban Spaces: The Mangrove in the Covid-19 Pandemic

Resumo: A problemática global dos danos que são causados aos manguezais tem sido discutida ao longo dos anos, sendo a interferência antrópica uma das principais ameaças ao ecossistema. Nesse aspecto, o estudo objetivou analisar os efeitos das ações antrópicas em uma área de mangue na pandemia da COVID-19. Para isto, foram utilizadas informações sobre o fluxo de veículos nas vias de Recife-PE no período antes e durante a pandemia. Posteriormente, foi aplicado o índice de CO_2_{flux} para o mesmo período para estimar o fluxo de CO_2 na vegetação. Para análise da influência da pandemia no mangue, foi analisada a densidade vegetal utilizando o NDVI e dados de casos confirmados de COVID-19. Como parâmetro final foi utilizado o dado de calor da superfície para estimar o fluxo de calor da superfície dos alvos. Ao analisar os dados de frota de veículos entre os anos 2010, 2017 e 2020, foi observado um aumento de automóveis influenciando no aumento, também, de gases poluentes como o CO_2 . Com relação à análise do fluxo de CO_2 para os anos 2010, 2017 e 2020, foi observado que o valor mais alto do índice predominou para os anos 2017 e 2020 para as áreas de vegetação mangue, sendo a mesma observação para o NDVI nos anos 2019 e 2020 (antes e durante a pandemia). Os valores mais altos dos índices de vegetação podem estar, também, perante influência do fluxo de calor absorvido e emitido pelos diferentes alvos na paisagem, como foi observado nos dados de casos confirmados de COVID-19, considerando a influência das características urbanas (circulação de pessoas) e áreas pavimentadas, e como foi mostrado nos dados de calor da superfície. Os dados apresentados contribuem para estimar a influência dos aspectos antrópicos na vegetação mangue, confirmando a fragilidade de alguns fragmentos que estão mais sujeitos a estes fatores.

Palavras-chave: COVID-19; Cobertura vegetal; Sensoriamento Remoto; Índices de Vegetação e Manguezal.

Abstract: The global problem of the damage that is caused to mangroves has been discussed over the years, with anthropic interference being one of the main threats to the ecosystem. In this aspect, the study aimed to analyze the effects of anthropic actions in a mangrove area on the pandemic COVID-19. For this, information on the flow of automotive vehicles between the years 2010, 2017, and 2020 was used, following the insertion of the Round Mangrove in said area. Subsequently, the CO₂_flux index was applied for the same period to estimate the CO₂ flux in vegetation. To analyze the influence of the pandemic on the mangrove, vegetation density was analyzed using NDVI and confirmed cases of COVID-19. As a final parameter the surface heat data was used to estimate the surface heat flux of the targets. When analyzing the vehicle fleet data between the years 2010, 2017 and 2020, an increase in automobiles was observed influencing the increase, also, of pollutant gases such as CO₂. Regarding the analysis of CO₂ flux for the years 2010, 2017 and 2020, it was observed that the highest value of the index predominated for the years 2017 and 2020 for the mangrove vegetation areas, and the same observation for the NDVI in the years 2019 and 2020 (before and after the pandemic). The higher values of the vegetation indices may also be in the face of the influence of the heat flux absorbed and emitted by the different targets in the landscape, as was observed in the data of confirmed cases of COVID-19, considering the influence of urban features (movement of people) and paved areas, and as was shown in the surface heat data. Therefore, the data presented here contribute to estimate the influence of anthropogenic aspects on mangrove vegetation, confirming the fragility of some fragments that are more subject to these factors.

Keywords: COVID-19; Vegetation Cover; Remote Sensing; Vegetation index and Mangrove.

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais do mundo estão ameaçados pelas mudanças globais: variação de temperatura, de precipitação, aumento do nível do mar, fortes emissões de dióxido de carbono na atmosfera, entre outros; os efeitos interativos da mudança

global são um dos responsáveis por causar a mortandade de ecossistemas importantes como os manguezais (OSLAND et al., 2018).

Algumas áreas de manguezais são utilizadas para melhor compreensão desses fatores, como o manguezal do Golfo do México, por exemplo, que apresenta inúmeras pesquisas devido à imensidão de pântanos costeiros e por apresentar maior variedade de gradientes geomórficos e abióticos que influenciam na dinâmica do manguezal (OSLAND et al., 2018).

No geral, os manguezais ao redor do mundo são influenciados por um fator climático único, como precipitação ou temperatura. Além disso, tais fatores são intensificados pela variação de salinidade (áreas hipersalinas recebem menor aporte de água doce), o que pode limitar a distribuição e a diversidade das florestas de mangue (LOVELOCK et al., 2015).

Schaeffer-Novelli et al. (1999) apontam que, no Brasil, os impactos causados para as populações e as comunidades costeiras estão cada vez mais vinculados à ação antrópica e às mudanças climáticas, somando-se a isso a influência de tensores antrópicos que afetam, de forma direta e indireta esses ambientes, como a poluição orgânica e química, a pesca predatória e a perda e a fragmentação de habitats.

Apesar do manguezal da costa brasileira apresentar condições diferentes às daquelas do Golfo do México, alguns fatores similares podem explicar a distribuição da floresta de mangue, na qual se pode citar a variação climática das zonas costeiras, as alterações de salinidade e de precipitação, partindo do pressuposto que os manguezais brasileiros encontram-se em condições adversas de clima e solo (LOVELOCK et al., 2015).

Segundo a FAO (2020), embora a síndrome respiratória aguda (SARS-CoV-2), conhecida como a doença corona vírus 2019 (COVID-19), seja um grande problema para a saúde humana, vários estudos nos últimos dois anos têm mostrado consequências ambientais, por vezes danosas, às áreas de cobertura vegetal com importância ambiental e ecológica, principalmente em países em desenvolvimento, onde há forte exploração dos recursos naturais, como exploração de madeira, caça predatória, uso inadequado do solo, entre outros.

Tendo em vista que as mudanças climáticas são frequentemente relacionadas às atividades humanas, principalmente devido às modificações na estrutura da

paisagem, em decorrência da perda e fragmentação de habitats para a ocupação do solo, soma-se a queima de combustíveis fósseis, quando são geradas altas taxas de CO₂ na atmosfera (LUCENA et al., 2011).

A zona de oceano costeiro apresenta ecossistemas que são interligados, englobando estuários, pântanos e a plataforma continental, com fluxo dinâmico entre rios e o oceano, sendo essa interação fundamental para a ciclagem de carbono. Desse modo, as florestas de mangue se destacam por servir como um filtro de carbono lateral, atuando não apenas na transferência de carbono para o oceano costeiro, mas na utilização deste elemento em seus processos biogeoquímicos e no sequestro de carbono (ROSENTRETER et al., 2018).

Partindo do pressuposto que as florestas tropicais, no geral, processam, aproximadamente, seis vezes mais carbono do que a emissão de origem antrópica, é necessário desenvolver, cada vez mais, estratégias que possam reduzir os impactos causados devido às emissões de CO₂ (dióxido de carbono), considerando a problemática discutida há décadas sobre mudanças climáticas, devido às fortes emissões desse elemento na geração de energia e transporte (RAY; JANA, 2017).

Moschetto, Ribeiro e Freitas (2021) destacam que, em se tratando de florestas tropicais, a proteção de ecossistemas, como os manguezais, tem sido discutida por cientistas e ambientalistas, visto que as áreas costeiras estarão sujeitas a uma crescente taxa de ocupação humana no próximo século, sendo um desafio para o manejo desse ecossistema. Estima-se que 2% dos manguezais ao redor do mundo estão desaparecendo, o que é um dado alarmante, tendo em vista a importância do manguezal para diversas formas de vida.

O termo “carbono azul” é utilizado para se referir a ecossistemas marinhos responsáveis por utilizar altas concentrações de carbono em seu ciclo biológico, sendo ecossistemas como os manguezais responsáveis por sequestrar e armazenar grandes concentrações deste elemento (SANTOS; BELTRÃO; TRINDADE, 2019).

A cobertura vegetal do manguezal tem importância ambiental e ecológica, fornecendo inúmeros serviços à comunidade costeira, atuando como berçário natural para várias espécies, importante na proteção contra enchentes e tempestades, e fundamental para a manutenção dos corpos hídricos e proteção contra a erosão do solo (ROSENTRETER et al., 2018).

O avanço da urbanização e o desenvolvimento econômico têm sido os problemas que mais afetam a dinâmica do manguezal, refletindo no aumento do dióxido de carbono na atmosfera e, conseqüentemente, no aumento da temperatura, com o favorecimento de espécies com maior poder de adaptação às diferentes condições de salinidade e temperatura (FURLAN, 2020).

O manguezal é um dos ecossistemas mais produtivos do planeta, com alta produtividade acima do solo e altas taxas de sequestro de carbono, fato atribuído à complexidade da estrutura foliar das espécies vegetais nele estabelecidas (RAY; JANA, 2017).

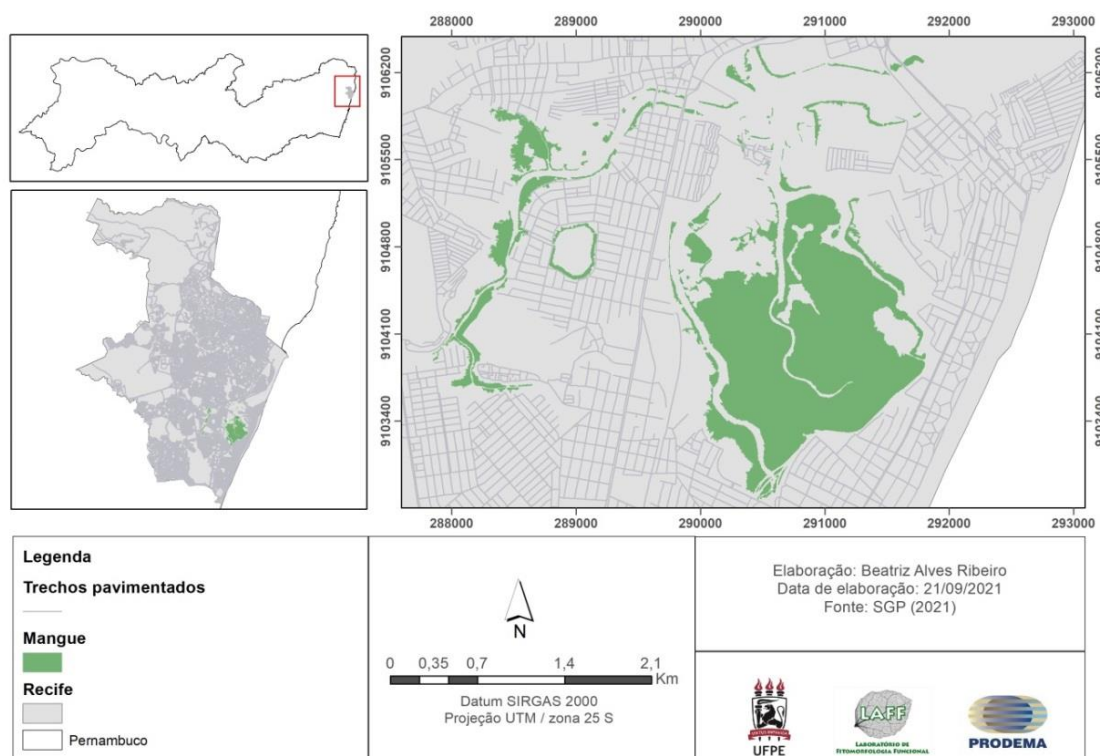
Em Recife, no ano de 2010, ocorreu à implementação da Via Mangue, visando melhorar o fluxo de veículos entre os bairros de Boa Viagem e Pina. Porém, a área de mangue em estudo vem passando por várias pressões antrópicas com a crescente expansão urbana, aterros e deterioração do ecossistema, devido ao despejo inadequado de efluentes.

O isolamento social implementado, como medida de biossegurança em consequência da pandemia do COVID-19, promoveu um menor fluxo de automotivos na área urbana. Este fato pode ter causado efeitos na vegetação do manguezal em função da redução de gases liberados dos automotivos na atmosfera. O estudo objetiva realizar uma análise da interferência antrópica na vegetação mangue no início da pandemia da COVID-19, visando identificar alterações no comportamento funcional dessas espécies.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de mangue situada na zona costeira da cidade de Recife, Pernambuco, entre as coordenadas geográficas 08°06'00" de latitude sul e 34°53'56" de longitude oeste, área densamente urbanizada com intensa circulação de veículos automotivos (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de mangue na cidade de Recife, Pernambuco, Brasil



Fonte: A autora (2021).

A bacia do Pina na Cidade de Recife-PE apresenta a maior e última reserva de mangue em área urbana do mundo, localizada no complexo estuarino dos Rios Pina, Jordão e Tejipió, onde encontramos o Parque Natural Municipal dos Manguezais Josué de Castro (MAIA; ALMEIDA; BELTRAME, 2019).

Os manguezais apresentam, em sua composição florística, a presença de espécies vegetais com copas densas e rugosas, baixa diversidade devido às condições adversas de clima e solo, além da alta salinidade; a vegetação está distribuída em zonas seguindo a linha d'água, conferindo uma fisionomia específica para essas espécies (SCHAEFFER-NOVELLI; VALE; CINTRÓN, 2015).

Os efeitos do isolamento social no fluxo de automotivos em áreas próximas ao manguezal foram avaliados a partir de dados obtidos no site da Prefeitura da Cidade do Recife (<http://dados.recife.pe.gov.br/>).

O comportamento funcional das espécies do mangue foi avaliado a partir da aplicação de Índices de Vegetação: Índice de CO_2_{flux} e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Para a aplicação do Índice de CO_{2_flux} foram adquiridas imagens espectrais do satélite Landsat 8 / sensor OLI (*Operational Land Imager*) disponibilizadas no geocatálogo da *Earth Explore* pelo site da USGS (*United States Geological Survey*). Essas imagens foram submetidas ao cálculo de correção atmosférica para amenizar os efeitos atmosféricos, utilizando a Equação 1.

$$\rho\lambda = M_p Q_{cal} + A_p \quad \text{Eq. 1}$$

onde $\rho\lambda$ = valor de reflectância para o topo da atmosfera, M_p = parâmetro do metadados da imagem, Q_{cal} = banda de satélite que será utilizada para a correção e A_p = parâmetro do metadados da imagem.

Para a aplicação do Índice de CO_{2_flux}, foi aplicado o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI - *Photosynthetic Reflectance Index*), elaborado a partir das regiões espectrais do azul e do verde, visando estimar a eficiência fotossintética da vegetação (POLONIO, 2015), utilizando a Equação 2.

$$PRI = (R1 - R2) / (R1 + R2) \quad \text{Eq. 2}$$

onde R1= reflectância relativa à banda (0.45 a 0.51 μm) e R2= reflectância relativa à banda (0.53 a 0.59 μm).

O Índice de CO_{2_flux} é resultado da integração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) com o PRI. No entanto, os valores do PRI, por estarem em valores negativos, devem ser convertidos para valores positivos, gerando um novo índice, o SPRI. A conversão dos valores para o positivo possibilita que os valores do SPRI possam variar de 0 a 1, aproximando-se da escala do NDVI. Dessa forma, para a aplicação do NDVI foi seguida a Equação 3.

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad \text{Eq. 3}$$

onde NIR = reflectância espectral na faixa do infravermelho próximo (0.85 - 0.88 μm) e RED = reflectância espectral na região do visível (0.64 - 0.67 μm).

Após a modelagem dos Índices NDVI e SPRI, foi realizada a modelagem do CO_{2_flux} para estimar a eficiência da vegetação na captura de CO₂ da atmosfera, seguindo a Equação 4.

$$CO2_flux = (NDVI * SPRI) \quad \text{Eq. 4}$$

Salienta-se a sensibilidade desses índices para os pigmentos vinculados à atividade fotossintética no organismo vegetal, principalmente os carotenoides, como a xantofila, indicando se a vegetação está passando por algum tipo de estresse relacionado à produtividade fotossintética (POLONIO, 2015).

Na análise da superfície do solo foi utilizada a banda 10 (infravermelho termal) do satélite Landsat 8/sensor OLI e submetida ao cálculo de correção atmosférica (Eq. 1). Em seguida, foi aplicada a fórmula de obtenção dos dados de temperatura da superfície, utilizando a Equação 5.

$$T = K2 / \ln(K1/L\lambda + 1) \quad \text{Eq. 5}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da interferência antrópica na condição biológica da vegetação foi observado o quantitativo do fluxo de veículos que circularam na Cidade do Recife, com dados adquiridos pelos equipamentos de lombadas eletrônicas antes e no início da pandemia da COVID-19 (Tabela 1).

²Tabela 1- Fluxo de veículos nas vias da Cidade do Recife, Pernambuco, Brasil, em 2017 e 2020.

Abril		
Horário	2017	2020
7 às 12 horas	30.695,37	500.687
13 às 18 horas	32.373,31	549.233

Fonte: CTTU (2020)

Ao analisar os dados de quantidade de veículos, foi observado que ocorreu redução significativa no ano de 2020 e em comparação a 2017, resultado do isolamento social na pandemia da COVID-19, considerando os horários de maior movimentação nas vias urbanizadas.

Dados apontam uma redução de 89% de ocorrências de trânsito nas principais vias da cidade do Recife, destacando a Avenida Domingos Ferreira em Boa Viagem com redução de 73% e a Avenida Governador Agamenon Magalhães com redução de mais de 50% do fluxo de veículos (CTTU, 2020).

² Não foram encontrados dados para o ano 2010.

Costa (2018) destaca que a poluição atmosférica, bem como o efeito da ilha de calor em áreas urbanas, impacta de forma negativa no comportamento funcional do indivíduo vegetal, apresentando menor interação de fluxo de CO₂.

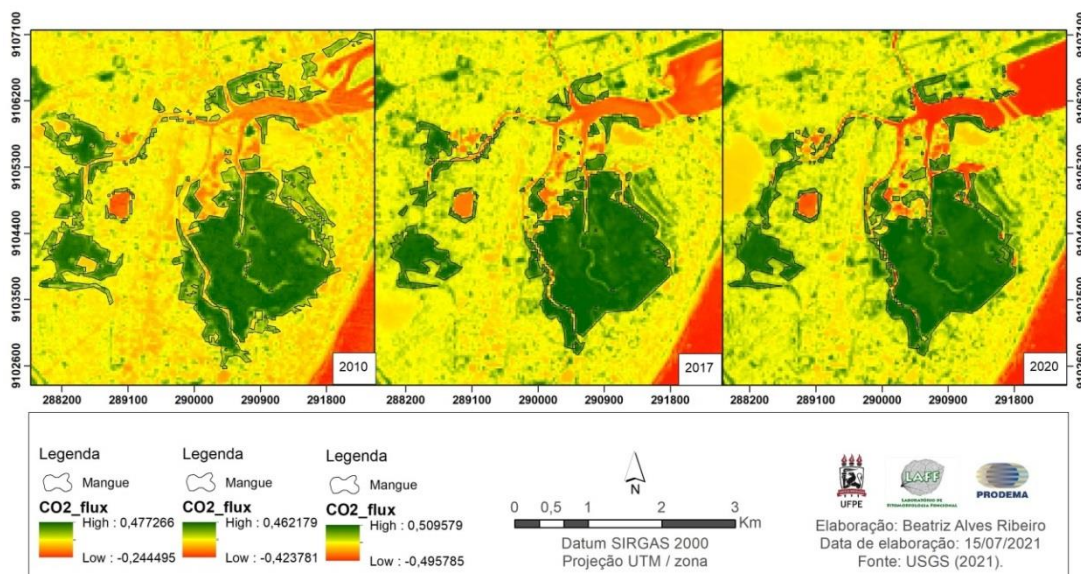
Carvalho (2011) destaca que, em se tratando de automóveis, as maiores causas de poluição estão atreladas aos veículos de grande porte, como caminhão, ônibus e micro-ônibus, por emitirem, de forma notável, Material Particulado (MP). Foi observado que um ônibus, transportando 70 pessoas, equivale a 50 automóveis nas ruas, correspondendo a 1,5 pessoas por veículo, caracterizando o transporte coletivo como o de menor impacto, por gerar menos poluição atmosférica.

Com o isolamento social visando conter a disseminação do vírus da COVID-19, foi observada uma redução no fluxo de veículos pelas principais vias do Recife. Só no bairro Boa Viagem, a Avenida Domingos Ferreira apresentou uma diminuição de mais de 73% do fluxo de veículos, as demais avenidas apresentaram uma queda entre 50% a 46% (DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2020).

Estima-se que, para a Cidade de Recife, o veículo urbano de maior impacto são os automóveis, caracterizando o CO₂ como o principal poluente na categoria de gases globais que são expelidos para a atmosfera e que são liberados por veículos automotores, sendo utilizado como unidade de equivalência para os demais GEE.

Ao analisar a condição biológica da vegetação de mangue, considerando os valores do índice de CO₂_flux (Figura 2), o valor mais alto do índice foi determinado para os anos de 2010 (0,477), 2017 (0,462) e 2020 (0,509). A estimativa do estoque de carbono na vegetação é possível devido à integração do PRI, que indica a eficiência da luz na fotossíntese, com o NDVI, que indica vigor e a rugosidade.

Figura 2- Estimativa do Índice CO₂_flux no mangue de Recife, Pernambuco, Brasil



Fonte: A autora (2021).

Nota-se que, para as áreas que correspondem à vegetação de mangue, o valor mais alto ressalta a vegetação em seu estado de maior eficiência na captura e estocagem de CO_2 da atmosfera. Além disso, observa-se que, nas áreas mais próximas aos corpos hídricos, principalmente nos fragmentos situados na porção mais ao norte nas cenas dos anos 2017 e 2020, prevaleceu o valor mais alto do índice, o que pode estar vinculado, entre outros fatores, a um melhor aproveitamento hídrico desses fragmentos e em melhores condições de hidratação.

Com relação aos dados de fluxo de veículos, foi observado que mesmo com grande fluxo de veículos no ano de 2017, a vegetação do manguezal apresentou, em sua predominância, o maior valor do índice (0,462), sendo o valor mais alto também em 2020 onde houve uma significativa redução do fluxo de veículos.

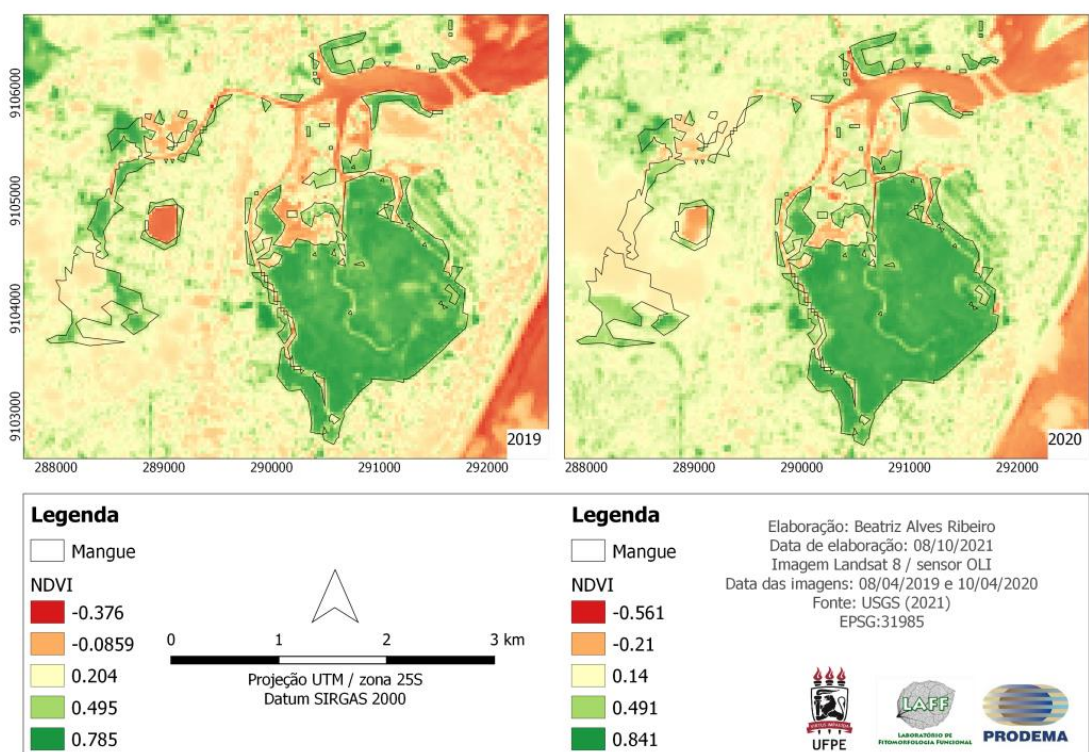
Segundo Lucena et al. (2011), a eficiência da vegetação de mangue quanto à captura de CO_2 para a fotossíntese, pode estar vinculada à presença de um maior número de camadas de parênquima paliçádico (principal tecido responsável pela fotossíntese) nas folhas. O parênquima esponjoso, que também apresenta pigmentos fotossintetizantes, é responsável por absorver e refletir, na região do infravermelho próximo, contribuindo com o armazenamento de CO_2 e O_2 no interior das folhas.

Vale ressaltar que as altas concentrações de CO_2 funcionam como um estímulo para a fixação de biomassa. Martinez et al. (2015) destacam que, com elevados níveis de CO_2 , a planta não necessita de luz extra, água ou nutrientes,

visto que o CO₂ restringe a atividade da Rubisco (enzima responsável pela catálise na fotossíntese), fazendo com que ocorra uma competição entre o CO₂ e o O₂ pelo sítio catalítico da enzima.

Com relação ao NDVI para a análise da densidade da vegetação, foi observado que para as áreas que correspondem à vegetação mangue mostraram uma variação entre os valores mais altos do índice para o ano de 2019 e entre os valores para o ano de 2020 (Figura 3).

Figura 3- Estimativa do NDVI no mangue de Recife, Pernambuco, Brasil



Fonte: A autora (2021)

As áreas de cobertura vegetal que apresentam maior valor do índice NDVI (0.785) ressaltam a vegetação com maior adensamento de folhas contendo tecidos fotossinteticamente ativos, espécies vegetais de maior porte (médio a alto), com maior rugosidade da copa, compatível com os indivíduos vegetais encontrados no mangue, em destaque na cena, sendo aqueles com valor de 0.495 podendo indicar diferentes tipologias vegetais ou mangue em diferente estágio de desenvolvimento.

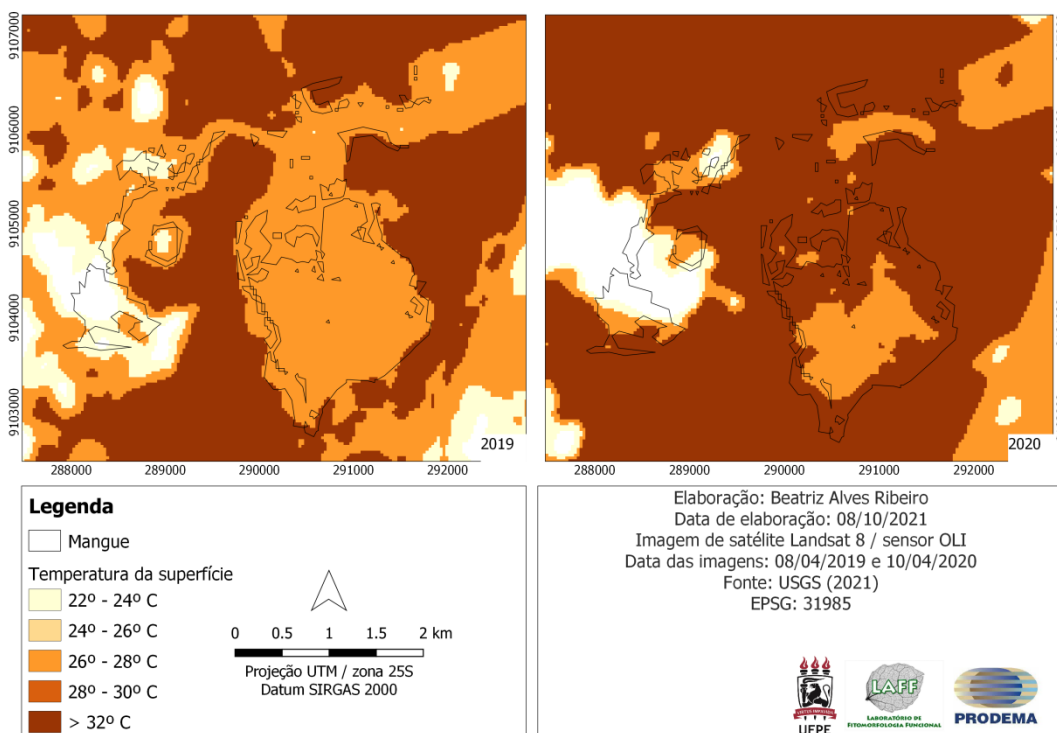
Outro fator que se pode analisar é a distribuição da vegetação mangue, sendo o fragmento mais conservado aquele que está situado na porção mais ao sul da imagem, que compreende o Parque dos Manguezais, local que apresenta maior atenção para as formas de uso do solo, apesar da intensa influência urbana, permitindo que o fragmento se apresente em melhor condição, em termos de conservação.

Os valores mais baixos (próximos ao negativo), variando entre 0.204 e -0.085, de maior predominância nos fragmentos de mangue situados na porção oeste do mapa foram consequência da presença de nuvens mais baixas que interferiram na análise destes fragmentos. Analisando fragmentos diminutos e lineares, situados na porção mais ao norte da imagem, e em fragmentos no entorno da Lagoa do Araçá, para o ano de 2020, alguns fragmentos exibiram a predominância de valores mais baixos, variando entre 0.491 e 0.841.

Com relação às áreas que apresentam fragmentos de manguezais, foi observado que, com relação ao maior fragmento de mangue situado no Parque dos Manguezais, houve uma redução da densidade de casos, principalmente nos fragmentos localizados na porção mais ao norte dos fragmentos de mangue para o ano 2021.

Ao analisar a temperatura da superfície para a área de mangue entre os anos de 2019 e 2020 (Figura 4), foi observada uma variação da energia emitida, dando destaque para o interior do mangue que, no mesmo período, apresentou maior emissão de radiação em seu interior.

Figura 4 - Temperatura da superfície para área de mangue do Recife-PE



Fonte: A autora (2021).

Gomes et al. (2019) destacam que o aumento da temperatura da superfície pode ser em decorrência de inúmeros fatores, sendo a densidade populacional, bem como as atividades vinculadas aos bens e serviços para a população humana, responsáveis por modificar as condições ambientais e climáticas, originando um ambiente eminentemente antrópico.

A cobertura vegetal, devido ao processo fisiológico de evapotranspiração, bem como o sombreamento da copa das árvores, influencia na termorregulação e no conforto térmico, sendo áreas que usualmente apresentam valores mais baixos de temperatura da superfície em comparação às superfícies urbanizadas, utilizadas para a mitigação de calor urbano e formação de ilhas de calor.

A fotossíntese, quando relacionada à temperatura, depende da disponibilidade de CO_2 no interior das folhas, sendo o incremento de CO_2 o maior responsável por influenciar as altas taxas fotossintéticas (MARTINEZ et al., 2015).

Nas folhas, o aumento da temperatura da superfície pode influenciar no aumento da pressão do vapor d'água, gerando maior demanda de água. Porém, o elevado nível de CO_2 pode induzir o fechamento estomático, resultando na diminuição da transpiração e provocando o aumento da temperatura foliar, causando

efeito contrário do uso da água devido diminuição da diferença de temperatura folha/ar (MARTINEZ et al., 2015).

A variação do aumento de calor da superfície na área vegetada para o ano de 2020 pode estar vinculada aos processos de urbanização, como desmatamento, intensificação de atividades antrópicas nas áreas adjacentes, poluição atmosférica, entre outros.

Com relação ao NDVI, e em comparação ao dado de temperatura da superfície, foi possível analisar que, em 2020, houve um aumento da temperatura da superfície e, para o mesmo ano, o NDVI apresentou uma variação dos valores para fragmentos diminutos e mais lineares situados na porção mais ao norte da imagem (Figura 3).

Nova, Gonçalves e Lima (2021), ao realizar um estudo similar, comparando o NDVI com a temperatura da superfície para o mesmo local de estudo, destacaram que temperaturas mais elevadas indicam solo desnudo ou que está sob a influência de ilhas de calor, em resposta à soma dos efeitos antrópicos, como construções, densidade populacional, poluição atmosférica, entre outros.

Nesse sentido, sabendo que área de vegetação mangue passou por inúmeros processos de urbanização ao longo dos anos, tal resultado pode ser um forte indício do aumento de tensores antrópicos, tendo em vista que regiões costeiras estão mais propícias ao aumento de tais atividades.

4 CONCLUSÃO

O isolamento social em razão da pandemia da COVID-19 no início de 2020 provocou uma redução no fluxo de veículos e, conseqüentemente, uma redução também nas emissões de Gases de Efeito Estufa, sendo um dos principais problemas ambientais urbanos.

Nesse sentido, ao analisar os dados de fluxo de veículos, e em comparação aos dados de CO_2_{flux} , indicaram que a cobertura vegetal apresentou alta eficiência no processo de captura deste carbono para as funções biológicas no processo de fotossíntese.

Portanto, os dados do estudo apontam que, apesar do período de pandemia e com as medidas protetivas de isolamento social, o intenso aumento de atividades antrópicas pode ter influenciado na qualidade da vegetação.

Esta explicação reflete no fato de que fragmentos menores e mais lineares estão exibindo uma variação entre valores mais baixos do NDVI nos anos 2019 e 2020, denotando uma resposta espectral compatível com uma vegetação menos densa com menor atividade fotossintética ou solo exposto.

Dessa forma, os resultados constituem uma breve análise de como a vegetação, mesmo em um curto intervalo de tempo, reage a mudanças antrópicas, sendo sua qualidade alterada em resposta aos diferentes tensores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados no 1º artigo, sobre a condição biológica da vegetação mangue, apontam para uma situação de fragilidade, sobretudo para as áreas mais próximas à borda e em manchas mais lineares e alongadas. Dessa forma, as métricas da paisagem, associadas a esse resultado, confirmam que esse fator pode ser em decorrência do efeito de borda, sendo necessária maior atenção para a mitigação desses efeitos.

No segundo artigo é possível observar que, ao longo dos anos e em comparação à análise temporal do primeiro artigo, nota-se que a substituição da vegetação mangue pode ter intensificado danos irreversíveis ao ecossistema. Um exemplo disso está na alta disponibilidade de CO₂ devido às altas taxas de emissão, influenciando na atividade fisiológica das plantas, estimulando uma maior produção de biomassa mesmo em períodos de significativa redução de Gases de Efeito Estufa.

Apesar do aumento de CO₂ ter efeitos positivos no aumento de biomassa, quando associado às altas temperaturas e com influência de poluição atmosférica, pode ocasionar um mau aproveitamento hídrico e influenciar no crescimento e fluxo gênico entre as espécies vegetais. Foram identificadas áreas de vegetação com menor aproveitamento de CO₂ e menor concentração de biomassa, sendo áreas de maior fragilidade que podem estar associadas a esses fatores.

Dessa forma, os artigos apresentaram dados relevantes que são importantes contribuições para o fortalecimento de políticas ambientais e na formação profissional qualificada em desenvolvimento e meio ambiente, apresentando dados que podem permitir desenvolver modelos e teorias a respeito da cobertura vegetal do manguezal de uma área do Recife.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. V.; SILVA, M. D. Geotecnologias e Meio Ambiente: Analisando uma Área de Proteção Ambiental. Centro de Ciências Aplicadas a Educação (CCAEE). 2016.
- ALMEIDA, I. M. S.; BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. PROJETO VIA MANGUE: SUPRESSÃO DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM RECIFE-PE. 2017.
- ANDRADE, M. M. N.; MARTINS, P. W.; SOUZA-FILHO, C. F. S. Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo e Mapeamento de Unidades de Paisagem na Região Portuária do Maranhão. **Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 18, n. 2, p. 73-84, 2018.
- ARAÚJO, M. E.; RAMALHO, C. W. N.; MELO, P. W. Pescadores artesanais, consumidores e meio ambiente: consequências imediatas do vazamento de petróleo no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, 2020. DOI: 10.1590/0102-311X00230319.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)- Advanced Training and User's Manual - Idaho Implementation, v.1.0, p. 98. 2002.
- BALOLOY, A. B.; BLANCO, A. C.; ANA, R.R.C.S.; 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**, v. 166, p. 95-117. 2020. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001.
- BLASCHKE, T.; LANG, S. Análise da paisagem com SIG. **Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos**, 2009.
- BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre–Estado do Rio Grande do Norte. **Geography Department University of São Paulo**, v. 33, p. 128, 2017. DOI: 10.11606/rdg.v33i0.128171.
- BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do Seqüestro de Carbono e de Domos Urbanos de em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Geografia**, v. 29, n. 2, p. 189-202, 2004.
- BILAR, A. B. C.; TAVARES, C. H. T.; BEZERRA, J. K. G. S.; BRASIL, J. M. S.; SANTANA, L. N.; FEITOSA, M. J. S.; SILVA, T. A. P. Desenvolvimento sustentável em publicações científicas brasileiras: uma revisão sistemática. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 6, n. 1, p. 051-059, 2021.
- CHEN, C.; BU, J.; ZHUANG, Y.; CHU, Y.; HU, J.; GUO, B. The application of the tasseled cap transformation and feature knowledge for the extraction of coastline

information from remote sensing images. *Advances in Space Research*, v. 64, n. 9, p. 1780-1791, 2019. DOI: 10.1016/j.asr.2019.07.032.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Analysis of the dynamics of forest fragments in the city of Carandaí, MG, for forest restoration. **Revista Árvore**, 34(5), 871-880. 2010.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 50(3):343-352. (1984a).

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. A physically-based transformation of Thematic Mapper Data - The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, n. 3, p. 256-263, 1984.

CAMPOS, D. J. S. L. A Via Mangue sob o olhar do ordenamento territorial urbano em Recife-PE: o lugar dado às famílias pobres. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 4, n. 2, p. 207-231, 2015.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Texto para Discussão, 2011.

COSTA, Vanessa Bastos Simões. Biomonitoramento da arborização em áreas urbanas: caracteres vegetais como indicadores de poluição atmosférica. 2018.

DANTAS, M. S.; ALMEIDA, N. A.; MEDEIROS, I. S.; SILVA, M. D. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 87-97, 2017.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Cresce número de acidentes com carros e motos no Recife na reabertura gradual da economia. Disponível em:<
<https://www.folhape.com.br/noticias/cresce-numero-de-acidentes-com-carros-e-motos-no-recife-na-reabertura/145041/>>

EID, A. N. M.; OLATUBARA, C. O.; EWEMOJE, T. A.; EL-HENNAWY, M. T.; FAROUK, H. Inland wetland time-series digital change detection based on SAVI and NDWI indecies: Wadi El-Rayan lakes, Egypt. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, p. 100347, 2020.

FREIRE, P. *Pedagogia da indignação: cartas pedagógicas e outros escritos*. São Paulo: UNESP, 2000. __. **Pedagogia da esperança: um reencontro com a Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

FURLAN, F. M. Variabilidade temporal e estimativa espacial dos fluxos de CO₂ entre a atmosfera e a vegetação na marisma da Ilha da Pólvora em Rio Grande-RS. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto (UFRGS), 2020.

GAIDA, W.; BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. G. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2020.

Gao, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**. 1996.

GOMES, J. F.; LUNA, V. F.; SILVA, C. C. J.; SILVA, J. M. O. Evolução das diferenças térmicas de temperatura da superfície da zona urbana do município do Crato/CE (1984-2011). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 993-1005, 2019.

GOMES, L. E. O.; SANDERS, C. J.; NOBREGA, G. N.; VESCOVI, L. C.; QUEIROZ, H. M.; KAUFFMAN, J. B.; BERNARDINO, A. F. Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 297, p. 113381, 2021.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environment**. Vol. 25, 1988.

HUETE, Alfredo; DIDAN, K. Miura T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. **Core writing team**, pp. 1-151, 2014.

JIN, S.; SADER, S. A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. **Remote sensing of Environment**, v. 94, n. 3, p. 364-372, 2005. DOI: 10.1016/j.rse.2004.10.012.

LUCENA, L.; MACIEL, V. E. D. O.; SILVA, J. B. D.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. D. M. Leaf structure of mangrove species to understand the spectral responses. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 2, p. 19-31, 2011.

LOVELOCK, C. E.; CAHOON, D. R.; FRIESS, D. A.; GUNTENSPERGEN, G. R.; KRAUSS, K. W.; REEF, R.; TRIET, T. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. **Nature**, v. 526, n. 7574, p. 559-563, 2015.

MELO, J. G. S.; SILVA, E. R. A. C. Avaliação do estuário do Capibaribe (Recife/Pernambuco, Brasil) acerca da degradação ambiental nos manguezais em ambientes urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, 2018.

MEHVAR, S.; FILATOVA, T.; DASTGHEIB, A.; STEVENINCK, E. R.; RANASINGHE, R. Quantifying economic value of coastal ecosystem services: a review. **Journal of marine science and engineering**, v. 6, n. 1, p. 5, 2018.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens? Revista Biota Neotropica, São Paulo, 2001.

MARTINEZ, C. A.; OLIVEIRA, E. D.; MELLO, T. R. P.; ALZATE-MARIN, A. L. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 8, p. 635-650, 2015.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MAIA, F. J. F.; ALMEIDA, I. M. S.; BELTRAME, L. T. C. PROJETO VIA MANGUE: SUPRESSÃO DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM RECIFE-PE. **PROJETO VIA MANGUE: SUPRESSÃO DE ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM RECIFE-PE**, pp. 1-388-416, 2019.

MACEDO, Y. M.; ORNELLAS, J. L.; BOMFIM, H. F. COVID-19 NO BRASIL: o que se espera para população subalternizada? **Revista Encantar**, v. 2, p. 01-10, 2020.

MATIAS, L.; ALMEIDA, N. V.; FERREIRA, G. R. D.; SILVA, M. D. ECOLOGIA DA PAISAGEM APLICADA À ANÁLISE AMBIENTAL E TEMPORAL DA VEGETAÇÃO REMANESCENTE EM PENEDO, ALAGOAS. *Geoambiente On-line*, n. 37, p. 322-342, 2020.

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**, v. 200, p. 105418, 2021.

MAGALHÃES, K M.; BARROS, K. V. S.; LIMA, M. C. S.; ROCHA-BARREIRA, C.A.; FILHO, J. S. R.; SOARES, M. O. Oil spill+ COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation. **Science of the Total Environment**, v. 764, p. 142872, 2021.

MAGAROTTO, M. G.; COSTA, M. F.; MASANET, E. Crescimento urbano em zonas costeiras: análise comparada da praia da Boa Viagem (Brasil) e da praia da Rocha (Portugal). **Cadernos de Estudos Sociais**, 2021, vol. 36, num. 1, 2021.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. Introdução ao Sensoriamento Remoto. São José dos Campos. p. 52. 2001.

NOVA, R. A. V.; GONÇALVES, R. M.; LIMA, F. V. M. S. Análise Temporal de Ilhas de Calor Através da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação em Recife-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 598-614, 2021.

OSLAND, M. J.; FEHER, L. C.; LÓPEZ-PORTILLO, J.; DAY, R. H.; SUMAN, D. O.; MENÉNDEZ, J. M. G.; RIVERA-MONROY, V. H. Mangrove forests in a rapidly changing world: Global change impacts and conservation opportunities along the

Gulf of Mexico coast. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 214, p. 120-140, 2018.

OMS, Organização Mundial de Saúde. Disponível em: <https://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>. 2020.

O GLOBO. Desmatamento avança em unidades de conservação estaduais na Amazônia. Disponível em: < <https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/desmatamento-avanca-em-unidades-de-conservacao-estaduais-na-amazonia-25397952>>. 2022.

POLONIO, V. D. Índices de vegetação na mensuração do estoque de carbono em áreas com cana-de-açúcar. Dissertação (mestrado)-Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

PEREIRA, J. A. V.; SOUZA, Y. G.; CORREIA, I. M. G.; SOUZA, B. I. Uso e cobertura do solo e comparação entre os índices de vegetação savi e ndwi na área de proteção ambiental das onças, Paraíba, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 2, 2020.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. **Oficina de Textos**, 2015.

PANDA, S.; RAY, S. S. Exploring urban dynamics of crowding with COVID-19 incidence A case study of Mumbai and Bengaluru city in India. **Journal of Urban Management**, 2021.

RAY, R.; JANA, T. K. Carbon sequestration by mangrove forest: one approach for managing carbon dioxide emission from coal-based power plant. **Atmospheric Environment**, v. 171, p. 149-154, 2017.

RIMA-Relatório de Impacto Ambiental. Projeto via mangue. Disponível em: < http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/RIMA_FINAL_VIA_MANGUE.pdf>. 2009.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, Washington, D. C. Proceedings. Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309-317. 1973.

ROSENTERTER, J. A.; MAHER, D. T.; ERLER, D. V.; MURRAY, R.; EYRE, B. D. Seasonal and temporal CO₂ dynamics in three tropical mangrove creeks—A revision of global mangrove CO₂ emissions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 222, p. 729-745, 2018.

RHYMA, P. P.; NORIZAH, K.; HAMDAN, O.; FARIDAH-HANUM, I.; ZULFA, A. W. Integration of normalised different vegetation index and Soil-Adjusted Vegetation Index for mangrove vegetation delineation. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 17, p. 100280, 2020.

RODRÍGUEZ-MORALES, A. J.; SÁNCHEZ-DUQUE, J. A.; BOTERO, S. H.; PÉREZ-DÍAZ, C. E.; VILLAMIL-GÓMEZ, W. E.; MÉNDEZ, C. A.; PANIZ-MONDOLFI, A. Preparación y control de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina. **Acta Médica Peruana**, v. 37, n. 1, p. 3-7, 2020.

ROY, D. P.; HUANG, H.; HOUBORG, R.; MARTINS, V. S. A global analysis of the temporal availability of PlanetScope high spatial resolution multi-spectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 264, p. 112586, 2021.

RECIFE-PE. Câmara Municipal. Disponível em: <<https://www.recife.pe.leg.br/comunicacao/noticias/conservacao-do-parque-dos-manguezais-e-tema-de-audiencia-publica>>. 2019.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C.C.; CINTRÓN, G. Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais. In: TURRA, A.; DENADAI, M. R. (org.). Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015. p. 62-80.

SANTOS, I. R.; BELTRÃO, N. E. S.; TRINDADE, A. R. Carbono "azul" nos manguezais amazônicos: conservação e valoração econômica. **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 31, p. 0018-28, 2019.

SOARES, M. L. G.; SILVA, J., C. M. G. S.; CAVALCANTI, V. F.; ALMEIDA, P. M. M.; MONTEIRO, A. S.; CHAVES, F. O.; ESTRADA, G. C. D.; BARBOSA, B. Regeneração de floresta de mangue atingida por óleo na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): Resultados de 5 anos de monitoramento. **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 1, 2006.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo, 1999.

SANTOS, I. R.; BELTRÃO, N. E. S.; TRINDADE, A. R. Carbono "azul" nos manguezais amazônicos: conservação e valoração econômica. **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 31, p. 0018-28, 2019.

SOBRINHO, M. A. M.; ANDRADE, A. C. O desafio da conservação de manguezais em áreas urbanas: identificação e análise de conflitos socioambientais no Manguezal do Pina–Recife–PE–Brasil. **Unimontes Científica**, v. 11, n. 1/2, p. 8-16, 2011.

SILVA, H. M. L. **Manguezal em áreas costeiras e urbanizadas: diagnose da condição ambiental da vegetação e interações antrópicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2019.

SHAMMI, S. A.; MENG, Q. Use time series NDVI and EVI to develop dynamic crop growth metrics for yield modeling. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107124, 2021.

PURNAMASARI, E.; KAMAL, M.; WICAKSONO, P. Comparison of vegetation indices for estimating above-ground mangrove carbon stocks using PlanetScope image. **Regional Studies in Marine Science**, v. 44, p. 101730, 2021.

TRUJILLO, L. V. P.; PINEDA, J. E. M.; CALDERON, J. H. M; ZIMMER, M.; SCHNETTER, M. L. Massive loss of aboveground biomass and its effect on sediment organic carbon concentration: Less mangrove, more carbon? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106888>.

XAVIER, D. A.; SCHETTINI, C. A.; FRANÇA, E. J.; FIGUEIRA, R. C.; BARCELLOS, R. L. Determination of geochemical background values on a tropical estuarine system in a densely urban area. Case study: Capibaribe estuary, Northeastern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 123, n. 1-2, p. 381-386, 2017.

ZULFA, A. W.; NORIZAH, K.; HAMDAN, O.; FARIDAH-HANUN, I.; RHYMA, P. P.; FITRIANTO, A. Spectral signature analysis to determine mangrove species delineation structured by anthropogenic effects. **Ecological Indicators**, v. 130, p. 108148, 2021.