

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS À DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA COBERTURA VEGETAL NO DISTRITO DE GILÉ, PROVÍNCIA DA ZAMBÉZIA, MOÇAMBIQUE

APPLICATION OF GEOTECHNOLOGIES TO DETECT
CHANGES IN VEGETATION COVER IN GILÉ DISTRICT, ZAMBÉZIA
PROVINCE, MOZAMBIQUE

APLICACIÓN DE GEOTECNOLOGÍAS PARA DETECTAR
CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL EN EL DISTRITO DE GILÉ,
PROVINCIA DE ZAMBÉZIA, MOZAMBIQUE

Geografia

Isac Toaya MUSSAMA¹
isac.mussama@uft.edu.br

Sarah Afonso RODOVALHO²
sarahrodovalho@uft.edu.br

Lucimara ALBIERI³
lucimaraalbieri@mail.ift.edu.br

RESUMO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma ferramenta importante para verificar a qualidade da vegetação, levando em conta fatores como clima e práticas agrícolas. O propósito deste estudo foi examinar as alterações no NDVI no Distrito de Gilé, província da Zambézia, Moçambique de 2000, 2010 e 2020, detectando tendências e mudanças ao longo do tempo para compreender as dinâmicas ambientais e seus efeitos no ecossistema local. Ao utilizar dados espectrais provenientes de Sensoriamento Remoto (TM-Landsat 5 e Landsat 8/OLI) e o programa ArcGis, conseguimos calcular o NDVI e tratar os dados. As análises do NDVI mostram mudanças significativas na cobertura vegetal entre 2000, 2010 e 2020. Em 2000, a área sem vegetação correspondia a 10,27% do distrito, mas esse número aumentou para 38,06% em 2010,

¹Mestrando em Ciências do Ambiente, Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins – Palmas – Tocantins – Brasil.
<https://lattes.cnpq.br/5054872078101271>

²Doutora em Desenvolvimento Regional, Professora Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins – Palmas – Tocantins – Brasil. <http://lattes.cnpq.br/7525655737864543>

³Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Professora Associada do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins – Palmas – Tocantins – Brasil. <http://lattes.cnpq.br/8011223784204088>



e depois diminuiu para 20,06% em 2020, indicando possíveis esforços de recuperação. A vegetação rasteira e esparsa foi reduzida ao longo dos anos, enquanto a vegetação densa cresceu consideravelmente, o que mostra processos de regeneração. Esse crescimento da vegetação densa estar ligada a ações de conservação e reflorestamento. Além disso, fatores climáticos, como a precipitação e a temperatura, influenciaram a recuperação das áreas degradadas, junto com práticas agrícolas mais sustentáveis. A regeneração da área é visível e está diretamente ligada a esforços de preservação e à redução das pressões humanas, como a gestão de incêndios.

Palavras-chave: NDVI; Sensoriamento Remoto; Cobertura Vegetal; Regeneração Ambiental.

ABSTRACT

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is an important tool for checking the health of vegetation, taking into account factors such as climate and agricultural practices. The purpose of this study was to examine changes in the NDVI of vegetation in Gilé District, Zambezia province, Mozambique from 2000, 2010 and 2020, detecting trends and changes over time to understand environmental dynamics and their effects on the local ecosystem. Using spectral data from remote sensing (TM-Landsat 5 and Landsat 8/OLI) and the ArcGis program, we were able to calculate the NDVI and process the data. The NDVI analyses show significant changes in vegetation cover between 2000, 2010 and 2020. In 2000, the area without vegetation corresponded to 10.27% of the district, but this figure increased to 38.06% in 2010, and then decreased to 20.06% in 2020, indicating possible recovery efforts. The undergrowth and sparse vegetation have been reduced over the years, while the dense vegetation has grown considerably, which shows regeneration processes. This growth in dense vegetation is linked to conservation and reforestation actions. In addition, climatic factors such as rainfall and temperature have influenced the recovery of degraded areas, along with more sustainable agricultural practices. The regeneration of the area is visible and is directly linked to conservation efforts and the reduction of human pressures, such as fire management.

Keywords: NDVI; Remote Sensing; Vegetation Cover; Environmental Regeneration.

RESUMEN

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es una herramienta importante para comprobar la calidad de la vegetación, teniendo en cuenta factores como el clima y las prácticas agrícolas. El objetivo de este estudio fue examinar los cambios en el NDVI en el distrito de Gilé, provincia de Zambézia, Mozambique, entre 2000, 2010 y 2020, detectando tendencias y cambios a lo largo del tiempo con el fin de comprender la dinámica ambiental y sus efectos en el ecosistema local. Utilizando datos espectrales de teledetección (TM-Landsat 5 y Landsat 8/OLI) y el programa ArcGis, pudimos calcular el NDVI y procesar los datos. Los análisis del NDVI muestran cambios significativos en la cubierta vegetal entre 2000, 2010 y 2020. En 2000, la superficie sin vegetación correspondía al 10,27% del distrito, pero esta cifra aumentó al 38,06% en 2010, y luego disminuyó al 20,06% en 2020, lo que indica posibles esfuerzos de recuperación. El sotobosque y la vegetación rala se han reducido con los años, mientras que la vegetación densa ha crecido considerablemente, lo que muestra procesos de regeneración. Este crecimiento de la vegetación densa está relacionado con las acciones de conservación y

reforestación. Además, factores climáticos como la pluviosidad y la temperatura han influido en la recuperación de las zonas degradadas, junto con prácticas agrícolas más sostenibles. La regeneración de la zona es visible y está directamente vinculada a los esfuerzos de conservación y a la reducción de las presiones humanas, como la gestión de incendios.

Palabras clave: NDVI; Teledetección; Cubierta Vegetal; Regeneración Ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das mudanças climáticas e das ações humanas sobre o meio ambiente nas últimas décadas tem implicado, dentro outras coisas, em alterações significativas na vegetação dos biomas, as quais podem contribuir para o ciclo de degradação ambiental (IPCC, 2013). As mudanças globais tornaram o estudo da dinâmica da vegetação uma questão central, com variações interanuais e intraanuais no crescimento da vegetação fortemente influenciadas pela precipitação (Buyantuyev e Wu, 2009; Qi *et al.*, 2009). A vegetação conecta o solo, a água e a atmosfera, sendo um indicador importante das mudanças climáticas e das atividades humanas (Vereecken *et al.*, 2010). Nos ecossistemas, a cobertura vegetal desempenha um papel fundamental na regulação de ciclos biogeoquímicos como o da água e do dióxido de carbono (Gerten *et al.*, 2004; Troch *et al.*, 2009; Allen *et al.*, 1987; Levis *et al.*, 2000).

Distrito de Gilé foi fortemente afetada pela guerra civil que se estendeu por quase duas décadas, de 1976 a 1992. A partir da década de 1990, após o fim da guerra, iniciou-se um significativo processo de urbanização acompanhado do êxodo rural, articulado à expansão da agricultura e de desmatamento em torno da Reserva (Mercier *et al.*, 2016). Nos anos de 1990 e 2000, presenciam-se elevadas taxas de desmatamento, sobretudo em função das migrações populacionais para as áreas urbanas após o conflito, que levaram a uma significativa expansão da agricultura em torno da reserva. Este processo resultou na deterioração de edificações e infraestruturas e na eliminação da vida selvagem na região (Mercier *et al.*, 2016). Apesar de existirem pesquisas sobre a vegetação mundial e regional, as alterações na vegetação na região do Distrito de Gilé ao longo dos últimos anos ainda não foram analisadas.

O *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um método frequentemente empregado para avaliar a qualidade das vegetações em contextos agrícolas para a correção e maximização da produção. Em virtude da variabilidade espacial nas características do solo, distintos pontos de um campo podem requerer diferentes quantidades de nitrogênio para alcançar rendimentos elevados (Ricotta *et al.*, 1999). Com a ajuda da Geoestatística, as informações pontuais do NDVI são convertidas em uma superfície de continuidade espacial, onde as características da cultura são expostas para o avanço da agricultura de precisão (Zhang *et al.*, 2009).

Através de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto, o NDVI se fundamenta na resolução espacial e espectral, podendo ser empregado para a análise de séries temporais de NDVI, com sua alta cobertura espacial e temporal, oferece uma ferramenta poderosa para monitorar mudanças ambientais e entender a dinâmica da vegetação em áreas de preservação como a Reserva Nacional de Gilé (RNG), o que pode ajudar a planejar a recuperação ambiental e o manejo sustentável. Os ajustes na refletividade dos materiais de superfície em diversas bandas espectrais proporcionam um mecanismo crucial para compreender as propriedades nas imagens de sensoriamento remoto. A vegetação, por meio de informações de sensoriamento remoto, pode ser diferenciada de outros materiais devido à sua notável absorção nos segmentos vermelho e azul do espectro visível, sua maior refletância no verde e sua alta refletância no infravermelho próximo (Ricotta *et al.*, 1999; Zhang *et al.*, 2009). Há diversos índices para realçar áreas verdes numa imagem de sensoriamento remoto, sendo o NDVI o mais frequente e frequentemente empregado.

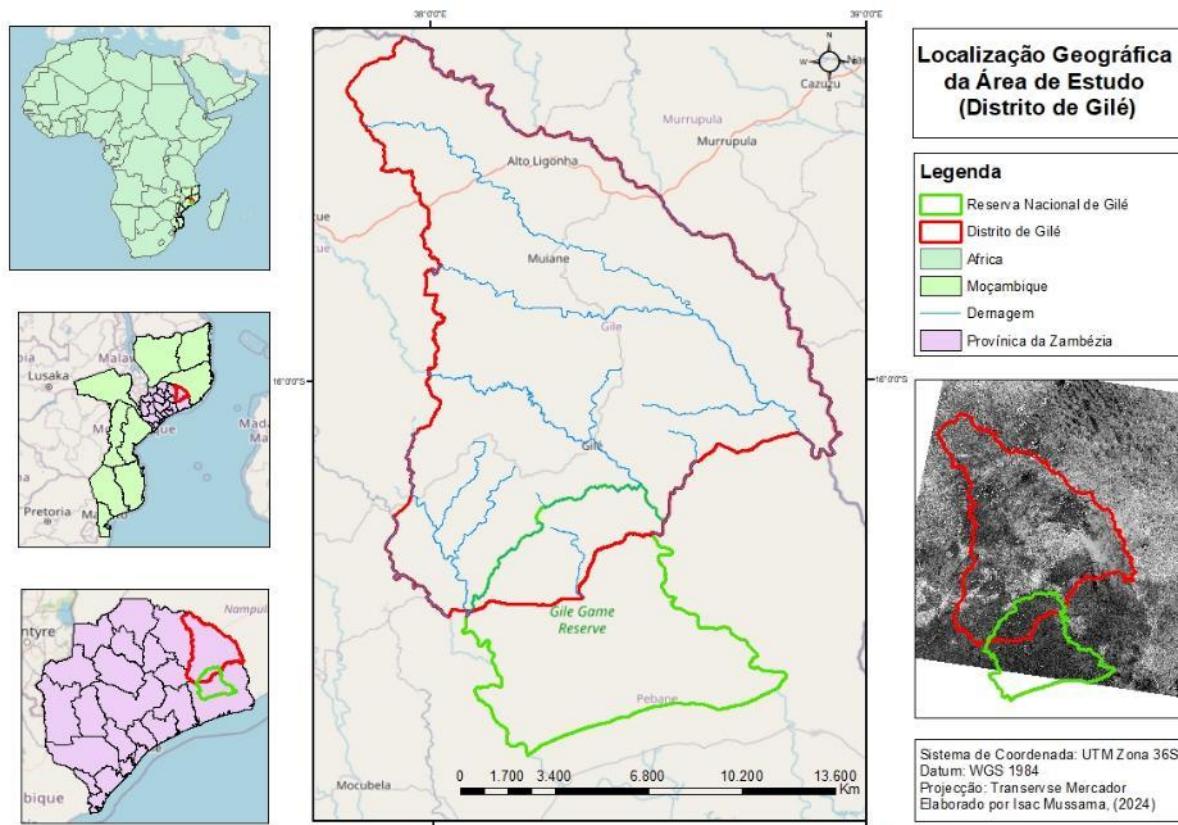
Este estudo tem como objetivo analisar as mudanças no NDVI da vegetação no Distrito de Gilé, Zambézia a partir da década de 1990 (pós-guerra civil), identificando a tendência da vegetação e suas variações temporais quanto a supressões ou recuperações, a fim de detectar modificações na cobertura vegetal ao longo do tempo para compreender melhor as dinâmicas ambientais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O Distrito de Gilé, situado ao norte da cidade de Quelimane, faz fronteira com o distrito de Murrupula, situado na província de Nampula, separado pelo rio Ligonha; ao norte, faz fronteira com o distrito de Pebane; ao sul, com o distrito de Pebane; ao leste, com o distrito de Moma, também em Nampula, através do Posto Administrativo de Chalaua; ao oeste, com o distrito de Alto Molócuè e ao sudoeste, com o distrito de Ile (MAE, 2005). A sua superfície é de 8.977 km², com uma população de 237.367 pessoas, o que resulta numa densidade demográfica de 16,7 habitantes por km² (INE, 2023).

Figura 1. Mapa de localização geográfica da área de estudo (distrito de Gilé)



Fonte: Os autores, (2024).

O Distrito de Gilé, possui uma reserva florestal denominada Reserva Nacional de Gilé (RNG), situada na província da Zambézia, em Moçambique que

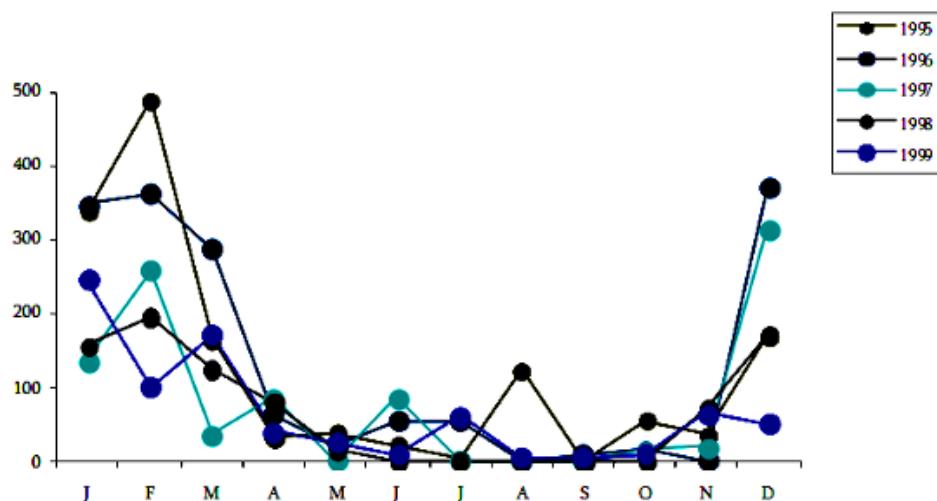
possui grande valor ecológico e histórico. De acordo com DNAC² (2010), a Reserva Nacional de Gilé, estabelecida em 1932, inicialmente abrangia 5.000 km² e foi reduzida para 2.800 km² em 1960. Criada como uma área de caça e proteção de espécies como o elefante e o rinoceronte preto, a RNG passou a ter maior proteção com a Lei nº 10/99. Ela abriga uma rica biodiversidade, com 253 espécies de plantas e 67 de mamíferos, como leões, elefantes e leopardos. Além disso, foi criada uma Zona Tampão de 3.175 km² para melhor manejo e preservação, beneficiando as comunidades locais com recursos e atividades ecoturísticas. O valor ecológico da RNG está na sua grande diversidade de flora e fauna, com ecossistemas intactos que abrigam espécies ameaçadas. Já o valor histórico reside no fato de ser uma das primeiras áreas de preservação em Moçambique, desempenhando um papel importante na proteção de espécies como o rinoceronte preto desde 1932.

O clima da área enquadra-se na zona climática classificada como “Zona de chuvas no verão tropical” (*tropical summerrainfall climatic zone*), conforme descrito por White (1983). Há uma estação chuvosa intensa e bem definida, que ocorre entre novembro e abril, seguida por um período seco durante o restante do ano. Entre 1995 e 1999, a precipitação anual média no Distrito de Gilé foi de 1.122 mm, de acordo com os dados fornecidos pelos Serviços Distritais de Apoio Económico. A evapotranspiração potencial situa-se entre 1.000 e 1.400 mm anuais (DNAC, 2010).

As temperaturas variam consideravelmente durante a estação seca, com mínimas médias de cerca de 13°C em junho e máximas médias de até 35,7°C em outubro, enquanto as médias anuais ficam entre 24°C e 26°C. Deste modo permite identificar dois períodos distintos: uma estação seca e fria, de maio a agosto, e outra seca e quente, entre setembro e outubro. Durante a estação chuvosa, as variações de temperatura são menos pronunciadas. A precipitação média anual na região varia entre 800 e 1.000 mm (DNAC, 2010).

² Direção Nacional de Áreas de Conservação

USSAMA, I. T; RODOVALHO, S. A; ALBIERI, L. Aplicação de Geotecnologias à Detecção de Mudanças na Cobertura Vegetal no Distrito de Gilé, Província da Zambézia, Moçambique. Revista CEC&T – Centro de Ciências e Tecnologia da UECE Fortaleza/CE, Revista CEC&T – Centro de Ciências e Tecnologia da UECE Fortaleza/CE, v.6, n.1, e15442. mês Julho. Ano. 2025. Disponível em <https://revistas.uece.br/index.php/CECIT/>

Figura 2. Precipitações no distrito de Gilé (1995 - 1999)

Fonte: DNAC, (2010).

Localizado no sul da região da alta Zambézia, Gilé está numa zona de transição para áreas de maior altitude, com altitudes variando entre 200 e 1.000 metros acima do nível do mar. O relevo é diversificado, com áreas suavemente onduladas e outras fortemente dissecadas. A produção agrícola é a principal atividade econômica, praticada quase exclusivamente de forma manual em pequenas propriedades familiares, ocorrendo principalmente em condições de sequeiro³, o que torna o risco de perda de colheitas elevado, dado o baixo armazenamento de umidade no solo durante o período de crescimento das culturas. O potencial para a agricultura irrigada é limitado (MAE, 2005).

Na parte sul do distrito, os principais sistemas agrícolas incluem combinações de mandioca, milho e dois tipos de feijões nhemba e boere, com uma menor presença de amendoim. Em áreas onde a umidade do solo persiste por mais tempo, são comuns culturas como arroz e batata-doce, esta última cultivada em montículos⁴. No Norte, o cultivo de mandioca, às vezes associado à mexoeira⁵, domina o sistema de produção. A castanha de caju é uma das principais fontes de renda familiar, complementada pelo cultivo de amendoim em

³ É uma técnica agrícola para cultivar terrenos onde a pluviosidade é diminuta.

⁴ Parte de um terreno destinado ao cultivo de plantas, flores ou legumes

⁵ É o nome mais frequente em Moçambique para um milho africano, conhecido como peniseto ou milhete, também amplamente difundido na Índia

solos arenosos e arroz em áreas de solos hidromórficos. Ao longo da faixa costeira, o cultivo de coqueiros também é comum (MAE, 2005).

Após um período de seca e a reabilitação de infraestruturas como vias secundárias, terciárias e canais de drenagem nas áreas baixas do distrito em 2003, a agricultura no Distrito de Gilé foi gradualmente retomada. A pecuária, embora subdesenvolvida, possui potencial devido às áreas de pastagem disponíveis, mas enfrenta desafios como doenças no rebanho e a falta de fundos e serviços de extensão rural, por parte dos órgãos públicos. Galinhas, patos e cabritos são os principais animais criados para consumo familiar, enquanto bois, cabritos, porcos e ovelhas são criados para comercialização (MAE, 2005).

O Distrito é também rico em florestas, com várias espécies de árvores madeireiras, como Umbila, Jambire, Pau-Preto e Pau-ferro. Atualmente, três empresas possuem licenças para exploração florestal, a empresa *Timber World*, Madeiras de Moçambique, explora em regime de concessão e uma serração na sede do distrito para processar madeira (MAE, 2005). A caça e a pesca desempenham um papel importante na alimentação das famílias locais, sendo gazelas e ratos campestris os animais mais caçados, e o rio Molocué um local importante para a pesca. Gilé abriga a maior reserva de caça da província, a Reserva de Caça do Gilé que atualmente é chamada Reserva Nacional de Gilé, com uma área de 2.100 km², que abriga elefantes, girafas, búfalos, rinocerontes, leões, leopardos, entre outros animais (MAE, 2005). O distrito é rico em recursos minerais, incluindo turmalina, quartzo, esmeralda e ouro, com oito empresas licenciadas para exploração. No entanto, a integração do distrito ao mercado é limitada devido à ausência de infraestrutura rodoviária, restringindo o comércio ao nível local (MAE, 2005).

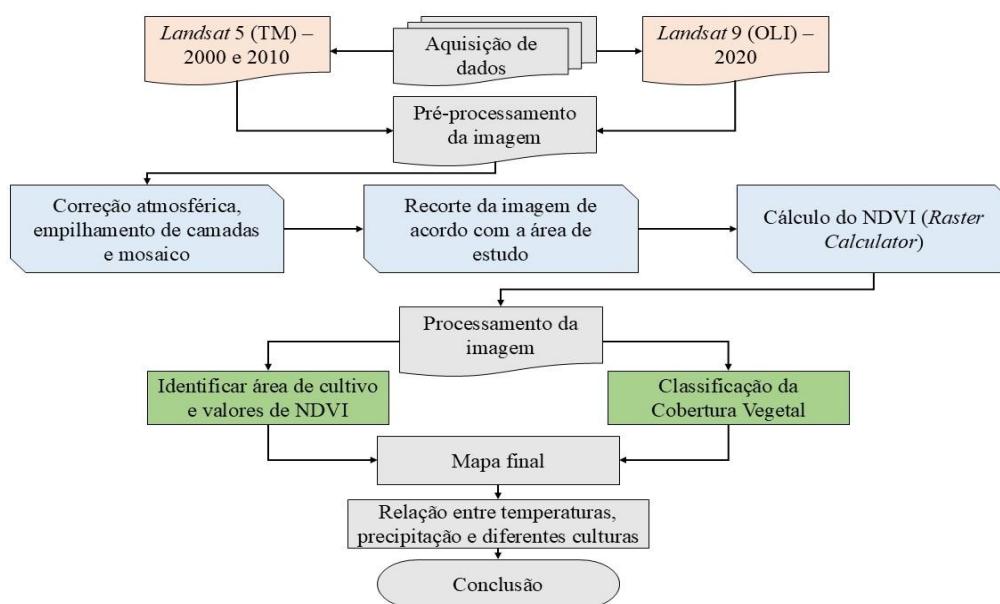
2.2. Conjuntos de dados e métodos

Para a análise multitemporal da cobertura vegetal, foram utilizadas duas imagens Landsat 5, sensor TM, e uma imagem *Landsat 9*, sensor OLI. Ambos os sensores têm resolução espacial de 30 metros por pixel e resolução radiométrica de 8 bits. As imagens cobrem a área de estudo e são datadas de

05 de setembro de 2000, 10 de junho de 2010 e 09 de setembro de 2020. As imagens dos satélites *Landsat 5* (2000 e 2010) e *Landsat 8* (2020) foram escolhidas considerando a inexistência isentas de nuvens. As fotografias foram capturadas pela plataforma *Earth Explorer* (USGS⁶) e os *shapefiles* da área de estudo foram fornecidos pelo CENACARTA⁷. Posteriormente, no pré-processamento, foram efetuadas correções atmosféricas e radiométricas. O cálculo utilizou as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Red) das imagens de satélite. Os elementos terrestres foram coloridos com as bandas 4 e 5. O processamento foi feito no programa *ArcGIS* com o auxílio da ferramenta *Raster Calculator*, onde o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado com base na Equação 1 (Mukwada; Manatsa, 2018; Morgan *et al.*, 2020). A avaliação final implicou na interpretação dos valores do NDVI, que oscilam entre -1 e +1, para estabelecer a densidade de vegetação na área de estudo (Figura 4).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{Equação (1)}$$

Figura 4. Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Os autores, (2024).

⁶ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

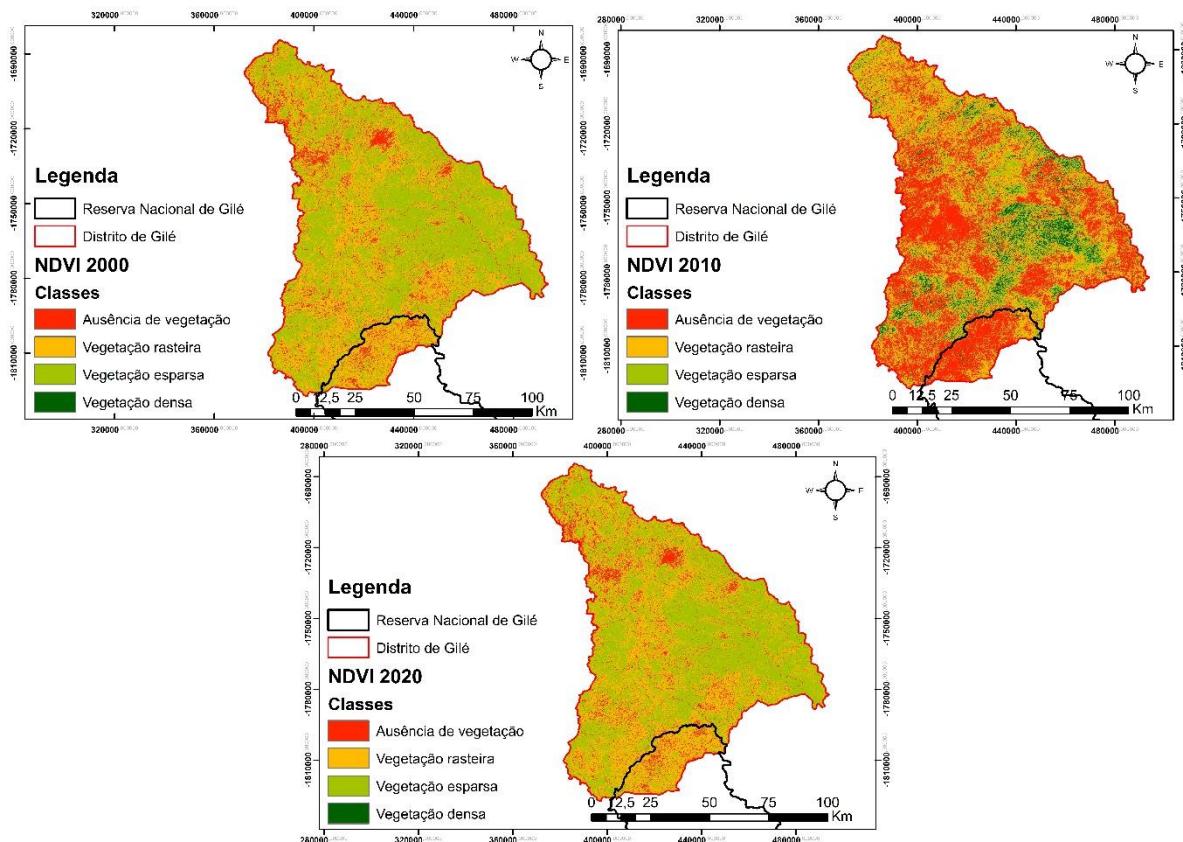
⁷ Centro Nacional de Cartografia e Teledetectação

Sendo NDVI índice de vegetação por diferença normalizada; NIR representa a reflectância na banda do infravermelho próximo; Red representa a reflectância na banda do vermelho. O NDVI oscila entre -1,0 e 1,0, sendo que valores negativos geralmente estão ligados a nuvens, água e neve, enquanto valores próximos a zero indicam rochas e solo sem cobertura. Valores extremamente baixos, como 0,1 ou menos, se referem a regiões sem vegetação, tais como rochas, areia ou neve. Por outro lado, valores moderados, entre 0,2 e 0,3, simbolizam campos e prados, enquanto valores elevados, de 0,6 a 0,8, sinalizam florestas temperadas e tropicais. Esses valores são fundamentais para a análise da vegetação e o monitoramento ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a classificação de Morais *et al.* (2011), Souza (2016) e Lima *et al.* (2017) e imagens de NDVI, foram criados mapas de cobertura vegetal do distrito de Gilé para os anos de 2000, 2010 e 2020, organizando-a em quatro classes principais: vegetação densa, vegetação esparsa, vegetação rasteira e ausência de vegetação. Além disso, os intervalos de NDVI possibilitaram estabelecer outras categorias: as áreas de solo exposto (NDVI: 0,01 a 0,13), que simbolizam solos descobertos ou com vegetação rala ligada ao desmatamento e atividades agrícolas; as áreas edificadas (NDVI: 0,13 a 0,25), que representam terrenos urbanizados com infraestrutura sem vegetação; e o intervalo de vegetação (NDVI: 0,25 até 1), que engloba regiões com vegetação rasteira, dispersa e densa, fundamentais para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Figura 5).

Figura 5. Mapa de cobertura vegetal do distrito de Gilé, Zambézia no ano de 2000, 2010 e 2020 na época seca



Fonte: Os autores, (2024).

A análise do NDVI feita na área em estudo mostrou mudanças visível na cobertura vegetal entre 2000, 2010 e 2020. No ano de 2000, a área sem vegetação ocupava 921,69 km², o que correspondia a 10,27% da totalidade do distrito de Gilé. Este montante cresceu consideravelmente para 3.414,68 km² (38,06%) em 2010, o que equivale a um aumento de 270,66%. (Tabela 1). No período de 2010 a 2020, a área sem vegetação diminuiu para 1.799,97 km² (20,06%), o que representa uma diminuição de 47,34% em comparação com 2010, embora ainda represente uma área significativa.

Tabela 1. Cobertura vegetal no distrito de Gilé, Zambézia, em 2000, 2010 e 2020

Classes de Cobertura Vegetal	2000	2010	2020
	Área (Km ²)	Área (Km ²)	Área (Km ²)
Ausência de vegetação	921,69	3.414,68	1.799,97
Vegetação rasteira	3539,77	3.330,36	3.058,31
Vegetação esparsa	4514,52	1.569,29	2.858,55
Vegetação densa	1,02	657,68	1.255,17
Total	8.972	8.972	8.972

Fonte: Os autores, (2024).

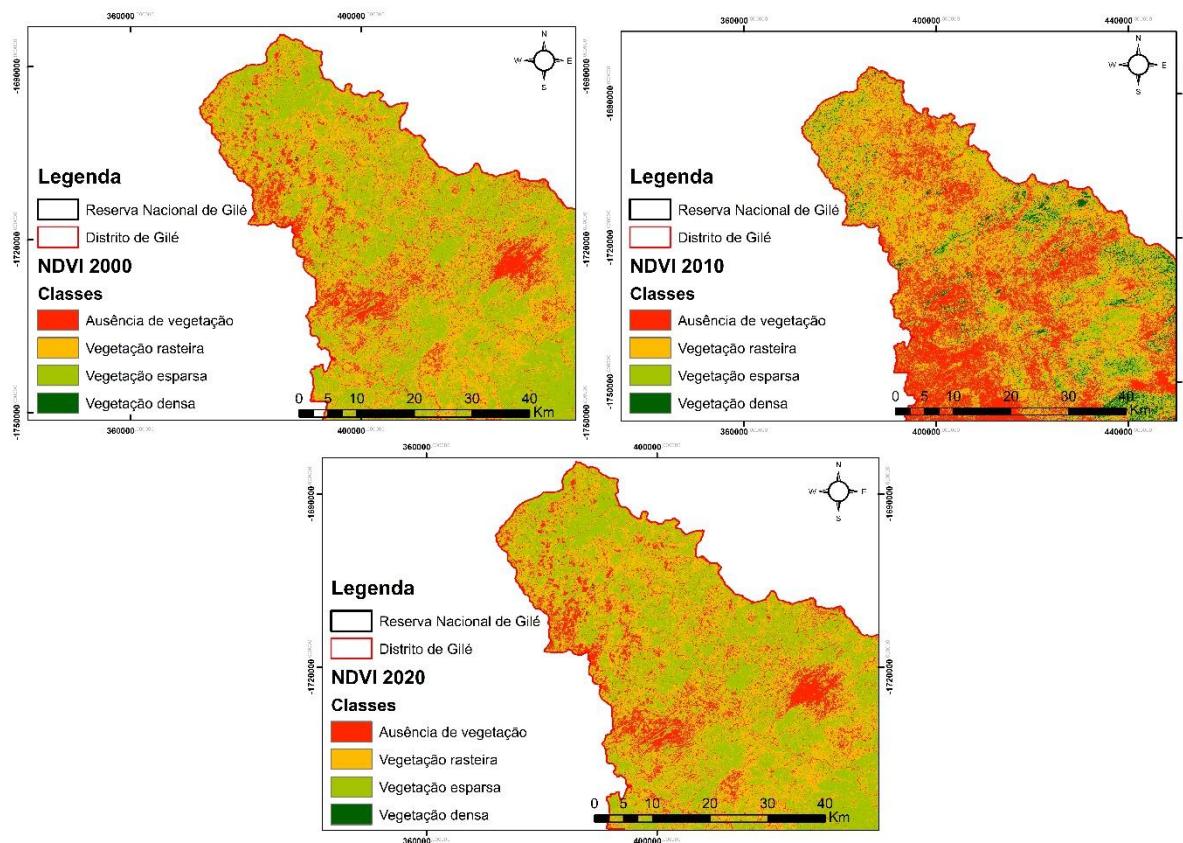
Essa diminuição sugere esforços de recuperação e regeneração de áreas degradadas, possivelmente resultado de políticas de conservação e redução de pressões antrópicas (Silva Neto, 2016; Silva, 2016). Entre essas pressões, destaca-se a produção de carvão vegetal, que impacta diretamente as áreas de desmatamento e resulta em emissões provenientes das áreas de suprimento. O desmatamento pode ser atribuído tanto à expansão agrícola quanto à exploração do carvão vegetal como subproduto. Dessa forma, o impacto da produção de carvão não apenas contribui para a degradação ambiental, mas também afeta os processos de recuperação da vegetação.

Pesquisas adicionais, como a realizada por Maúnze (2016) sobre a Reserva Nacional do Gilé (RNG), corroboram essa tendência de regeneração. O estudo de Maúnze mostrou que, de 2004 a 2014, aproximadamente 41,99% da reserva foi impactada por incêndios, com uma taxa anual de 8,03% da área ardida (cerca de 229,67 km²). Em comparação, a pesquisa de Cangela (2014) realizada na Reserva Nacional do Niassa (RNN), que possui floresta de Miombo, revelou um impacto significativamente maior, com 91% da área sendo devastada ao longo de 12 anos, sendo aproximadamente 14% dessa perda ocorrendo anualmente. A discrepância nos dados pode ser justificada pela densidade populacional: a RNN abriga populações dentro de suas fronteiras, enquanto a RNG não tem residentes permanentes, o que pode ter reduzido a pressão antrópica e, consequentemente, a ocorrência de incêndios.

Ao longo dos anos, a vegetação rasteira, que ocupava 3.539,77 km² (39,43%) em 2000, apresentou uma ligeira queda, reduzindo-se para 3.330,36 km² (37,12%) em 2010, o que representa uma diminuição de 5,91%. Em 2020,

essa categoria passou a ocupar 3.058,31 km² (34,09%), uma nova redução de 8,16% em relação a 2010. Dessa maneira, a dinâmica da cobertura vegetal reflete tanto os impactos negativos de atividades humanas quanto as iniciativas de conservação que buscam reverter esse quadro.

Figura 6. Observação da queda da vegetação rasteira 2000, 2010 e 2020



Fonte: Os autores, (2024).

A vegetação esparsa, que ocupava 4.514,52 km² (50,29%) em 2000, sofreu uma queda significativa para 1.569,29 km² (17,49%) em 2010, o que representa uma diminuição de 65,2% em relação a 2000. De 2010 a 2020, essa região cresceu de 2.858,55 km² (31,86%) para 2.858,55 km² (31,86%), o que corresponde a um crescimento de 82,39%. Dessa forma, indica que ocorreu algum tipo de regeneração e/ou recuperação de uma parte dessa vegetação, em decorrência de esforços de conservação e/ou alterações nas práticas de ocupação do solo (conforme ilustrado na Figura 6 e Tabela 2). Conforme Silva Neto (2023), essa elevação pode estar ligada à substituição da vegetação

rasteira para esparsa, sinaliza uma etapa intermediária de recuperação ambiental, impulsionada por métodos de gestão sustentável e políticas de reflorestamento.

A vegetação densa, que ocupava apenas 1,02 km² (0,01%) em 2000, experimentou um crescimento notável, atingindo 657,68 km² (7,33%) em 2010, o que equivale a um crescimento de 64.674,5%. Este avanço persistiu de 2010 a 2020, quando a área coberta por vegetação densa atingiu 1.255,17 km² (13,99%), um acréscimo de 90,91%. Este crescimento expressivo pode ser creditado a ações de preservação ou recuperação de regiões anteriormente degradadas (Tabela 2). A expansão da vegetação densa sinaliza um avanço notável, intensificando a absorção de carbono e a resistência dos ecossistemas frente a eventos climáticos severos (Souza, 2004).

Tabela 2. Cobertura vegetal no distrito de Gilé, Zambézia, em 2000 e 2010

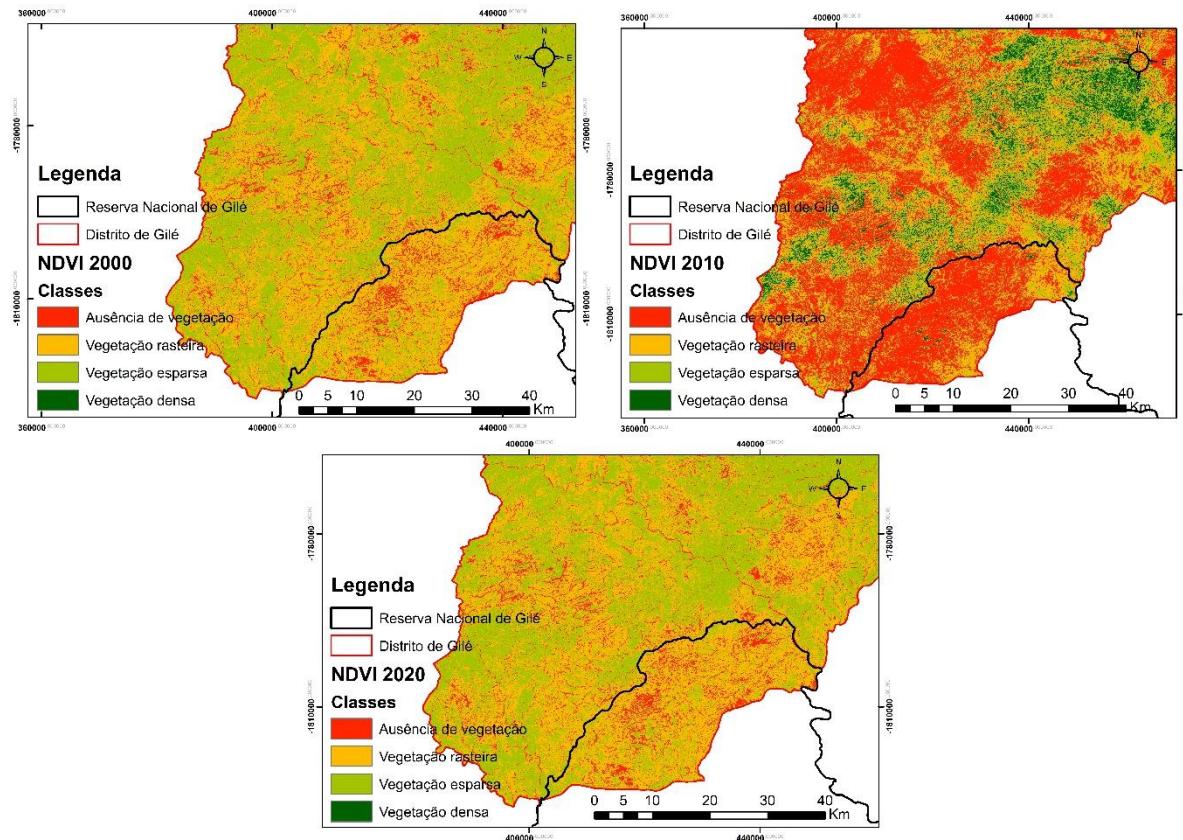
Classes de Cobertura Vegetal	2000	2010
	Área (Km²)	Área (Km²)
Ausência de vegetação	921,69	3.414,68
Vegetação rasteira	3539,77	3.330,36
Vegetação esparsa	4514,52	1.569,29
Vegetação densa	1,02	657,68
Total	8.972	8.972

Fonte: Os autores, (2024).

Pode-se observar a regeneração da RNG em diversos graus (Figura 8), graças aos esforços de preservação e ao trabalho desenvolvido por MICOA (2000), MICOA (2007), DNAC (2010), MITADER (2016), ETC TERRA (2016), Grupo Banco Mundial (2018), ETC TERRA (2018) e NTUMI *et al.* (2018), que estabeleceram estratégias de proteção da região e incentivaram o fortalecimento dos meios de subsistência e a conservação das florestas em Moçambique. Além disso, a recuperação da flora e o fortalecimento da fauna do distrito de Gilé estão se tornando cada vez mais evidentes, em grande parte devido à redução das pressões humanas, como a gestão de incêndios e o aprimoramento das práticas de gestão sustentável. A área da RNG está passando por uma regeneração, com

a restauração gradativa da flora e da fauna, mostrando um caminho positivo para a recuperação da biodiversidade e a melhoria das condições ecológicas da área.

Figura 7. Observação da regeneração da RNG em diversos graus 2010 e 2020



Fonte: Os autores, (2024).

Fatores climáticos, como a temperatura e a precipitação, têm um impacto direto na recuperação de áreas afetadas e na saúde das plantações. Em áreas com grande variação climática, como a província da Zambézia, precipitações adequadas estimulam o desenvolvimento de vegetação esparsa e densa. Pesquisas realizadas por Vieira (2021) e Oliveira (2024) demonstram a importância de temperaturas amenas e precipitação regular para a mudança de áreas degradadas para vegetação densa, que oferece maior proteção ao solo e resistência climática.

O tipo de agricultura também tem um impacto considerável no NDVI e na saúde da cobertura vegetal. Culturas de menor escala e práticas de agricultura sustentável estimulam o crescimento de vegetação esparsa e densa (Ferreira, 2020; Mubai, 2022). No município de Gilé, a expansão da vegetação densa pode

estar ligada a métodos de agricultura sustentável que promovem a recuperação do solo e diminuem a pressão humana.

Políticas de preservação e ações de reflorestamento são fundamentais para a recuperação das áreas sem vegetação, por isso o distrito de Gilé teve uma diminuição de aproximadamente 47,3% de 2010 a 2020. Esta queda dá crédito aos esforços feitos para restaurar o ecossistema. A mudança progressiva de vegetação rasteira para esparsa e densa, notada no distrito de Gilé, simboliza uma etapa de regeneração na qual a vegetação esparsa atua como uma etapa intermediária, crucial para a estabilização do ambiente. Marques (2016) destaca que essa regeneração depende de práticas de gestão sustentável, que restauram a vegetação e fortalecem a resiliência dos ecossistemas frente a eventos climáticos severos.

4. Conclusão

A análise do NDVI no Distrito de Gilé aponta para uma recuperação progressiva da vegetação. A diminuição de 47,3% nas áreas sem vegetação de 2010 a 2020 e o crescimento da vegetação dispersa e densa indicam um processo de recuperação do ecossistema, com progressos notáveis na biodiversidade e na estabilidade do meio ambiente. Para estudos futuros, recomenda-se investigar as razões particulares do aumento e/ou diminuição da vegetação, bem como intensificar a periodicidade temporal das análises para detectar padrões mais minuciosos de mudança. Realizar uma validação de campo da área em estudo como tirar fotografias e as respetivas coordenadas, será importante para respaldar estratégias de reflorestamento e recuperação, priorizando a resiliência dos ecossistemas e a recuperação sustentável de áreas afetadas, dando preferência a espécies locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, L. H. et al. **Response of vegetation to rising carbon dioxide: photosynthesis, biomass, and seed yield of soybean.** *Global Biogeochemical Cycles*, v. 1, p. 1–14, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/GB001i001p00001>.
- BAI, Z.; DENT, D. **Recent land degradation and improvement in China.** *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, v. 38, p. 150–156, 2009.
- BUYANTUYEV, A.; WU, J. **Urbanization alters spatiotemporal patterns of ecosystem primary production: a case study of the Phoenix metropolitan region USA.** *Journal of Arid Environments*, v. 73, p. 512–520, 2009.
- CANGELA, A. C. N. P. **Caracterização e mapeamento do regime de queimadas na Reserva Nacional de Niassa.** Maputo: DEF/FAEF/UEM, 2014.
- DE JESUS, I. P. **O papel da abelha *Apis mellifera* na proteção e preservação do solo: um olhar sobre o Parque Natural do Vale do Guadiana.** 2023.
- DEKKER, S. C. et al. **Coupling microscale vegetation–soil water and macroscale vegetation–precipitation feedbacks in semiarid ecosystems.** *Global Change Biology*, v. 13, p. 671–678, 2007.
- DNAC – Direção Nacional de Áreas de Conservação. **Reserva Nacional do Gilé: Plano de Manejo 2012–2021.** Maputo, Moçambique: Ministério do Turismo, 2010.
- ETC TERRA; RONGEAD. **Programa de Gestão Integrada de Paisagem da Zambézia (ZILMP).** Relatório final, 14 de junho de 2016.
- ETC TERRA; RONGEAD. **Mozbio Gilé – Sexto Relatório de Progresso (jan/jun 2018).** 2018.
- FERREIRA, E. J. S. A. **Avaliação de índices de vegetação para estimativa de produtividade do milho em sistemas de manejo do solo no Cerrado.** 2020.
- GERTEN, D. et al. **Terrestrial vegetation and water balance—hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model.** *Journal of Hydrology*, v. 286, p. 249–270, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.09.029>.
- GRUPO BANCO MUNDIAL. **Gestão da Paisagem da Zambézia: Fortalecendo os meios de subsistência e conservação das florestas em Moçambique.** 2018.
- INE – Instituto Nacional de Estatística. **Estatísticas do Distrito de Gilé: 2017–2021.** Delegação Provincial da Zambézia, Moçambique, 2023.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **The physical science basis.** (No Title), 2013.
- KRUG, T. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das florestas à mudança do clima.** *Parcerias Estratégicas*, n. 27, p. 43–72, 2008.
- LEVIS, S.; FOLEY, J. A.; POLLARD, D. **Large-scale vegetation feedbacks on a doubled CO₂ climate.** *Journal of Climate*, v. 13, p. 1313–1325, 2000.

- LIMA, C. E. S. et al. **Geotecnologias aplicadas à detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Inhaúma–PE/AL. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 5183–5191, 2017.
- MACKENZIE, C. **Administração da floresta na Zambézia, Moçambique**: um Take-Away Chinês! Relatório final para FONGZA, 2006.
- MAE – Ministério da Administração Estatal. **Perfil do Distrito de Gilé – Província da Zambézia**. Maputo: MAE, 2005.
- MARQUES, É. A. T. **Vulnerabilidade da piscicultura às alterações climáticas na bacia hidrográfica do rio São Francisco**. *Transformando o nosso mundo: A REALP no caminho de 2030*, p. 35, 2016.
- MAÚNZE, C. R. **Análise espacial e temporal de queimadas usando imagens satélite na Reserva Nacional do Gilé (de 2004 a 2014)**. Monografia, 2016.
- MERCIER, C. et al. **Análise das dinâmicas e causas do desmatamento e degradação florestal....** Estudo de base ZILMP, 2016.
- MITADER – Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural. **Estratégia Nacional para REDD+ 2016–2030**. Maputo, 2016.
- MORGAN, B. E. et al. **Spatiotemporal analysis of vegetation cover change in a large ephemeral river**. *Remote Sensing*, v. 13, n. 1, p. 51, 2020.
- MUBAI, B. A. **Gestão dos recursos hídricos transfronteiriços: repercussões e desafios sobre agricultura familiar na microbacia de Chokwé, rio Limpopo, Moçambique**. 2022.
- MUKWADA, G.; MANATSA, D. **Spatiotemporal analysis of the effect of climate change on vegetation health in the Drakensberg**. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, p. 1–21, 2018.
- NTUMI, C.; NHAMBE, C.; PIRES, S. **Avaliação de desempenho do projecto “Conservação de Recursos Naturais na Reserva Nacional do Gilé...” Relatório Final**, 2018.
- OLIVEIRA, L. D. D. **Geotecnologias aplicadas à degradação ambiental da sub-bacia do Rio Piancó no semiárido paraibano**. 2024.
- PEREIRA, J. S. **Dinâmica da degradação ambiental no município de Taperoá–Paraíba: um estudo espaço-temporal**. 2019.
- QI, Q. et al. **Temporal and spatial changes of vegetation cover and the relationship with precipitation in Jinghe watershed of China**. *Chinese Journal of Plant Ecology*, v. 33, p. 253–264, 2009.
- RICOTTA, C.; AVENA, G.; PALMA, A. D. **Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR-NDVI time-series**. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 54, p. 325–331, 1999.
- SILVA NETO, M. L. D. **Capacidade de infiltração em solos de áreas suscetíveis à desertificação no município de Cabaceiras-PB**. 2016.

- SILVA NETO, R. C. D. **Serviços ecossistêmicos na APA do litoral norte de Sergipe no município de Pacatuba.** 2023.
- SILVA, M. C. **Degradação ambiental e áreas suscetíveis à desertificação antrópica em Nossa Senhora da Glória.** 2016.
- SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável.** 2004.
- TROCH, P. A. et al. **Climate and vegetation water use efficiency at catchment scales.** *Hydrological Processes*, v. 23, p. 2409–2414, 2009.
- VEREECKEN, H.; KOLLET, S.; SIMMER, C. **Patterns in soil–vegetation–atmosphere systems: monitoring, modeling, and data assimilation.** *Vadose Zone Journal*, v. 9, p. 821–827, 2010.
- VIEIRA, B. F. **Análise ambiental da Serra da Caboronga em Ipirá (BA): subsídio ao planejamento e à gestão ambiental.** 2021.
- ZHANG, X. et al. **NDVI spatial pattern and its differentiation on the Mongolian Plateau.** *Journal of Geographical Sciences*, v. 19, p. 403–415, 2009.