



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MONOGRAFIA CIENTÍFICA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SENSÍVEIS À DEGRADAÇÃO COM APLICAÇÃO DAS
GEOTECNOLOGIAS: ESTUDO DE CASO RIO DOS ELEFANTES-MASSINGIR**

Monografia Científica apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de licenciatura em
Engenharia Florestal

Autor: Florêncio Alberto Nhassengo

Tutor: Engº Agnaldo Viriato Ubisse (MSc)

Lionde, Dezembro de 2024



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre *Mapeamento de áreas sensíveis à degradação com aplicação das geotecnologias. Estudo de caso Rio dos Elefantes-Massingir* apresentado ao curso de engenharia florestal na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito necessário para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Florestal.

Monografia defendida e aprovada no dia 30 de Outubro de 2024

Júri

Supervisor:

(Engº Agnaldo Ubisse, MSc)

Revisor 1:

(Engº Eduardo Sonto, MSc)

Revisor 2:

(Dr. Arão Finiasse, MSc)

Lionde, Dezembro de 2024

ÍNDICE

Índice de figuras	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Lista de abreviaturas.....	x
DEDICATÓRIA.....	xii
AGRADECIMENTOS.....	xiii
Resumo	xiv
ABSTRACT	xv
I Introdução.....	16
1.1 Contextualização.....	16
1.2 Problema e justificativa	18
1.3 Objectivos	18
1.3.1 Geral:	18
1.3.2 Específicos:	19
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Restabelecimento da cobertura florestal nativa	20
2.1.1 Florestas ribeirinhas	20
2.2 As áreas de protecção permanente (APP).....	20
2.3 Importância das áreas de preservação permanente (APP).....	21
2.4 Bacia hidrográfica.....	22
2.5 Geotecnologias	22
2.5.1 Sensoriamento Remoto.....	23
2.5.2 Imagens de satélite – LANDSAT.....	23
2.5.3 Classificação digital de imagens	24
2.5.4 Índice de concordância Kappa	24

2.5.4.1	Algoritmo de Máxima Verossimilhança	25
2.6	Abordagem multicriterial no suporte à tomada de decisões	25
2.6.1	O processo de modelagem e decisão no AHP	25
2.6.2	O processo de modelagem e decisão no AHP	26
2.7	Abordagem multicriterial no suporte à tomada de decisões em alguns estudos.....	27
2.7.1	CrITÉrios de tomada de decisão.....	28
2.7.1.1	Declividade	28
2.7.1.2	Precipitação	28
2.7.1.3	Uso e Ocupação do Solo	29
2.7.1.4	NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).....	29
III	Metodologia.....	31
3.1	Descrição da área de estudo.....	31
3.1.1	Clima e Hidrografia.....	31
3.1.2	Solos	32
3.1.3	Vegetação	32
3.2	Materiais	32
3.3	Procedimentos metodológicos	33
3.3.1	Aquisição das imagens de satélite	34
3.3.2	Pré-processamento.....	34
3.3.2.1	Georreferenciamento.....	34
3.3.2.2	Correcção atmosférica.....	34
3.3.2.3	Composição das bandas	34
3.3.2.4	Delimitação da área de estudo	35
3.3.3	Processamento	35
3.3.4	Elaboração dos mapas dos factores ou critérios.....	35

3.3.4.1	Uso e cobertura de terra	36
3.3.4.2	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	37
3.3.4.3	Declividade	38
3.3.4.4	Precipitação	38
3.3.5	Aplicação do método AHP no processo de tomada de decisão	39
3.3.6	Reclassificação dos mapas dos factores	39
3.3.7	Matriz de comparação pareada	40
3.3.8	Determinação dos pesos	41
3.3.9	Verificação da consistência da matriz pareada	41
3.3.10	Maior Autovector ($\lambda_{\max}$)	42
3.3.11	Índice de consistência (IC)	42
3.3.12	Índice randômico (IR)	42
IV	Resultados E DISCUSSÃO	43
4.1	Uso e cobertura da terra no distrito de Massingir	43
4.2	Avaliação da classificação do mapa de uso e cobertura	45
4.3	Declividade no distrito de Massingir	45
4.4	NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do distrito de Massingir	48
4.5	Precipitação Média Anual	50
4.6	Aplicação do método AHP na tomada de decisão sobre as áreas prioritárias e verificação da sua consistência	52
4.6.1	Matriz de comparação pareada	52
4.6.2	Matriz de comparação pareada normalizada	52
4.6.3	Pesos dos criterios	53
4.6.4	Consistência da Matriz pareada	54
4.7	Áreas sensíveis à degradação no limite distrital de Massingir	54

V	Conclusão	61
VI	Recomendações	62
VII	Referências Bibliografia	63
VIII	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árvore de decisão da estrutura hierárquica do AHP	26
Figura 2: Mapa de Localização da área de estudo.....	31
Figura 3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	33
Figura 4. Mapa temático do Uso e Cobertura de Terra do limite distrital de Massingir	43
Figura 5. Mapa temático da Declividade do limite distrital de Massingir.	46
Figura 6. Mapa temático do NDVI do limite distrital de Massingir	49
Figura 7. Mapa temático da Precipitação média anual do limite distrital de Massingir	51
Figura 8. Mapa temático das áreas sensíveis à degradação do limite distrital de Massingir.....	55
Figura 9. Mapa de Áreas áreas sensíveis a degradação na Área de Preservação permanente em torno do rio dos elefantes e na albufeira de Massingir	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Escala fundamental de Landis e Koch.....	24
Tabela 2. Processo para decompor a decisão no AHP – 5 passos.....	27
Tabela 3: Materiais usados para a realização do trabalho.	32
Tabela 4. Chave de classificação do uso e cobertura de terra	36
Tabela 5. Classes de NDVI	38
Tabela 6. Classes de Declividade	38
Tabela 7. Classes de Precipitação.....	39
Tabela 8. Escala fundamental proposta por Saaty.....	39
Tabela 9. Reclassificação dos mapas de cada factor	40
Tabela 10. Matriz de comparação pareada	40
Tabela 11. Matriz de comparação pareada normalizada	41
Tabela 12. Pesos dos criterios	41
Tabela 13. Classes de Uso e Cobertura de Terra e as suas respectivas áreas.....	44
Tabela 14. Avaliação da classificação.....	45
Tabela 15. Classes de Declividade e as suas respectivas áreas	47
Tabela 16. Classes de NDVI e as suas respectivas áreas	49
Tabela 17. Matriz de comparação pareada	52
Tabela 18. Matriz de comparação pareada normalizada	53
Tabela 19. Pesos dos criterios	53
Tabela 20. Consistência da Matriz	54
Tabela 21. Classes das áreas sensíveis à degradação no limite distrital de Massingir	56
Tabela 22. Classes das áreas sensíveis à degradação na Área de Preservação permanente em torno do rio dos elefantes e na albufeira de Massingir	58

LISTA DE ABREVIATURAS

APP - Area De Preservação Permanente

CENACARTA - Centro Nacional De Cartografia E Teledetecção

ETM - Enhanced Thematic Mapper +

FAO - Food And Agriculture Organization

FAEF - Faculdade de agronomia e engenharia florestal

GPS - Global Positioning System

GNU - General public license

Ha - Hectares

IAF - Índice de área foliar

INGC - Instituto nacional de gestao de calamidades

LANDSTA - Land Remote Sensing Satellite

M - Metros

MAE - Ministério de Administração Estatal

MICOA - Ministerio Para A Coodernacao Da Acção Ambiental

NASA - Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos

NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

OLI - Operation Land Imager

Qgis - Quantum Geografic Infomation Siste

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SIG - Sistema De Informação Geográfica

TIRS - Thermal Infrared Sensor

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

USGS - United States Geological Survery

AMC – Análise Multicritério

AHP – Analytic Hierachyc Process



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, 10 de Abul de 2025

Florêncio Alberto Nhassengo

(Florêncio Alberto Nhassengo)

DEDICATÓRIA

Dedico este momento especial aos meus queridos pais e aos meus amados irmãos. À vocês, que sempre estiveram ao meu lado com amor incondicional, apoio incansável e sabedoria sem igual, meu mais profundo agradecimento.

Cada conquista alcançada é reflexo do amor e dos valores que vocês me ensinaram. Sou grato por cada momento compartilhado, por cada sacrifício feito em meu benefício. Que nossa união continue sendo a base sólida que me impulsiona a crescer e a buscar sempre o melhor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a Deus, cuja orientação, força e bênçãos me sustentaram ao longo de toda esta jornada acadêmica. Sem Sua sabedoria e providência, para superar os desafios e alcançar este marco importante. A Ele dedico todo o meu esforço e conquistas, reconhecendo que foi Sua mão que me guiou e me deu a coragem necessária para perseverar.

Aos meus pais, Alberto Office Nhassengo e Gilda Jorge Gove, dedico um agradecimento especial por seu amor incondicional, apoio e sabedoria. Suas palavras de encorajamento e sua presença constante foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Sem vocês, nada disso seria possível. A vós o meu mais sincero e profundo agradecimento.

Aos meus irmãos, Sérgio Alberto Nhassengo (Mr. Fantastic) e Alberto Nhassengo Junior (King Tsube), pela motivação, cumplicidade e união que sempre demonstraram. Sua presença constante e encorajamento foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios e alcançar meus objetivos, sou eternamente grato por nossa forte ligação.

A Isabel Machaieie, minha companheira, namorada e amor, por estar ao meu lado em todos os momentos. Sua paciência, carinho e apoio incondicional foram essenciais durante todo esse processo. Sou eternamente grato por te ter ao meu lado, não só nesse projecto, mas em todos os aspectos da minha vida.

Ao Instituto Superior Politécnico de Gaza e a todo o corpo docente, em especial ao curso de Engenharia Florestal que, de forma direta ou indireta, me acompanharam ao longo do curso, contribuindo para minha formação e crescimento acadêmico.

Ao meu supervisor, Eng.º Agnaldo Viriato Ubisse Nhumbate, MsC, por sua orientação e apoio constante. Sua paciência e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão desta monografia. Sou grato pelas valiosas lições, conselhos sábios e pela confiança depositada em mim, que me permitiram aprender e crescer sob sua supervisão.

Aos meus colegas e amigos pessoais, em especial ao Jorge Inguane, Albdul Tangune, José Benjamim, Wild Comé, Reginaldo Bambo, Delvin Tsinine, Ednilson Marcelino, Simão Sambo, Belton Cumbane e outros não mencionados, expresso o meu sincero agradecimento pela amizade e pelos momentos incríveis que compartilhamos juntos. Cada um de vocês contribuiu significativamente para tornar esta jornada mais enriquecedora e memorável.

RESUMO

A redução da vegetação ribeirinha ao longo das bacias hidrográficas, é amplamente atribuída a ações antropicas, devido a conversão dos ecossistemas florestais em diversos usos de terra. Este estudo visa identificar as áreas prioritárias para o reestabelecimento da cobertura florestal no distrito de Massingir, na província de Gaza, utilizando uma combinação de geotecnologias e análise multicritério. Foram elaborados mapas de uso e cobertura da terra, declividade, precipitação e NDVI utilizando o software QGIS e ArcGIS. As imagens de satélite foram classificadas usando a técnica de Máxima Verossimilhança, e o NDVI foi calculado a partir da razão entre a refletância no infravermelho próximo e no vermelho. O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação, e o mapa de precipitação foi obtido de dados históricos disponíveis no WorldClim. O método Analytic Hierarchy Process (AHP) foi aplicado para ponderar e comparar os critérios selecionados: uso e cobertura da terra, declividade, precipitação e NDVI. A construção da matriz de pesos no AHP seguiu a metodologia proposta por Saaty, e os pesos obtidos foram NDVI (0,14), declividade (0,26), precipitação (0,35) e uso e cobertura da terra (0,26). A análise de consistência da matriz apresentou uma Razão de Consistência (CR) de 0,00009, indicando alta coerência nas comparações. Os resultados mostraram que aproximadamente 23,3% da área APP foi classificada como altamente prioritária para o reestabelecimento da cobertura florestal, com 5,82 km² (4,42% da área total) na classe muito alta e 24,89 km² (18,88%) na classe alta. Cerca de 52,35% da área foi identificada como prioridade moderada, e 37,61 km² (28,54%) foi classificada como baixa prioridade. A classe de prioridade muito baixa cobriu 11,82 km² (8,97%).

Palavras Chave: bacias hidrográficas, APP, geotecnologias e Análise multicritério.

ABSTRACT

The reduction of riparian vegetation along river basins is largely attributed to anthropogenic actions, due to the conversion of forest ecosystems into various land uses. This study aims to identify priority areas for the reestablishment of forest cover in the district of Massingir, in the Gaza province, using a combination of geotechnologies and multicriteria analysis. Land use and cover, slope, precipitation, and NDVI maps were developed using QGIS and ArcGIS software. Satellite images were classified using the Maximum Likelihood technique, and the NDVI was calculated from the ratio between near-infrared and red reflectance. The slope map was created from the Digital Elevation Model, and the precipitation map was obtained from historical data available from WorldClim. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was applied to weigh and compare the selected criteria: land use and cover, slope, precipitation, and NDVI. The weight matrix construction in AHP followed the methodology proposed by Saaty, and the obtained weights were NDVI (0.14), slope (0.26), precipitation (0.35), and land use and cover (0.26). The consistency analysis of the matrix showed a Consistency Ratio (CR) of 0.00009, indicating high coherence in the comparisons. The results showed that approximately 23.3% of the APP area was classified as highly prioritized for the reestablishment of forest cover, with 5.82 km² (4.42% of the total area) in the very high class and 24.89 km² (18.88%) in the high class. About 52.35% of the area was identified as moderate priority, and 37.61 km² (28.54%) was classified as low priority. The very low priority class covered 11.82 km² (8.97%).

Keywords: Watersheds, PPA, geotechnologies and Multicriteria Analysis

I INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A cobertura florestal de Moçambique, estimada em cerca de 34 milhões de hectares, representa aproximadamente 36% do território nacional. No entanto, dados recentes evidenciam uma significativa redução na cobertura florestal em comparação com inventários anteriores, devido a pressões antropogênicas crescentes. Essas pressões incluem o desmatamento para a expansão agrícola, a exploração madeireira ilegal e a conversão de florestas em pastagens. (Magalhães, 2018).

A vegetação ao longo das margens dos cursos de água desempenha inúmeras funções na dinâmica de uma bacia hidrográfica, portanto a sua presença é condição básica para a manutenção da integridade dos processos hidrológicos e ecológicos nessas unidades da paisagem, pois proporcionando diversos benefícios na medida em que suportam a fauna e aumentam a conectividade da paisagem, promovendo a manutenção de habitats aquáticos e a melhoria na qualidade da água (Venzk, 2019).

Através das actividades humanas, os recursos naturais foram transformados em bens essenciais para a sobrevivência e conforto, muitas vezes à custa da degradação ambiental (Milare, 2001). A remoção da cobertura vegetal e a falta de controle da erosão resultam em escoamento superficial excessivo, causando o assoreamento de rios, lagos e represas, comprometendo a disponibilidade de água (Costa et al., 2005). A presença de vegetação reduz ainda significativamente a possibilidade de contaminação dos cursos de água por sedimentos, resíduos de adubos e defensivos agrícolas, isso ocorre por que esta vegetação atua como excelente consumidor de nutrientes provenientes de agro-ecossistemas vizinhos (Costa, et al., 2005).

As áreas de protecção permanente (APPs) são áreas demarcadas em propriedades públicas ou privadas, estabelecidas por lei ou autoridade competente, com base nas características geomorfológicas do terreno. Elas visam prevenir a degradação dos recursos ambientais e hídricos, mantendo suas funções ecológicas. As APPs desempenham um papel fundamental na preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, da biodiversidade e na protecção do

solo, além de promoverem o bem-estar das comunidades humanas (Viana, 2004, citado por Neiva, 2009; Rocha, 2011).

A determinação de áreas prioritárias para o restabelecimento da cobertura florestal por meio de geotecnologias é essencial para preservar e recuperar áreas degradadas. O uso de ferramentas como sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica permite identificar com precisão as áreas que mais necessitam de intervenção (Barros & Mello, 2002). Ao estabelecer critérios é possível direccionar recursos para acções de restauração que terão um impacto significativo na recuperação do ecossistema (Ribeiro & Martensen, 2005). A integração das geotecnologias com políticas de conservação oferece uma abordagem estratégica para a gestão ambiental sustentável (Ribeiro & Martensen, 2005).

Neste contexto, o objetivo do estudo é determinar e priorizar áreas degradadas para o reestabelecimento da cobertura florestal ao longo das margens do Rio dos elefantes, utilizando geotecnologias, associadas a uma abordagem multicriterial baseada no processo de tomada de decisão AHP (Analytic Hierarchic Process) para análise espacial e monitoramento ambiental através de critérios como o Uso e cobertrura de terra, Precipitação, Declividade e o NDVI. A relevância do estudo reside na necessidade de promover a recuperação da cobertura florestal, melhorar a sua biodiversidade, mitigar os efeitos da mudança climática e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos, ameaçados pela expansão agrícola e degradação ambiental.

1.2 Problema e justificativa

A devastação das florestas ribeirinhas, devido à extração de madeira, pecuária intensiva e agricultura, ameaça levar a uma degradação irreversível desse ecossistema complexo (Costa *et al.*, 2016). A margem dos rios, densamente habitada, sofre com a pecuária, principalmente de bovinos, caprinos e aves, que utilizam a pastagem natural da floresta ribeirinha como principal recurso (DNAC, 2012).

A redução da vegetação ribeirinha nas margens do Rio dos Elefantes é amplamente atribuída a acções antrópicas, como o abate de árvores para a agricultura. Áreas cultivadas, especialmente em solos argilosos e férteis das margens do rio, são intensivamente exploradas, resultando em significativas consequências como erosão do solo e a fragmentação dos ecossistemas, o que compromete a biodiversidade e a recarga hídrica.

Nesta perspectiva, busca-se responder o seguinte questionamento para o presente estudo: ***Como as geotecnologias podem auxiliar no Mapeamento de áreas sensíveis à degradação nas margens do Rio dos Elefantes?***

Mapeamento de áreas sensíveis à degradação ao longo das margens do Rio dos Elefantes, em Massingir, é crucial para mitigar a degradação ambiental e restaurar a biodiversidade. A aplicação de geotecnologias, como sensoriamento remoto e a abordagem Multicriterial através do método AHP (Analytic Hierarchy Process), permite uma análise eficiente para identificar as áreas mais sensíveis a degradação e aquelas com maior potencial de recuperação. Este processo facilita a priorização de intervenções baseadas em factores como a severidade da degradação, a importância ecológica e a viabilidade técnica, garantindo um planeamento estratégico e eficaz para a recuperação do ecossistema ribeirinho.

1.3 Objectivos

1.3.1 Geral:

Mapear as áreas sensíveis à degradação com base na aplicação das Geotecnologias, ao longo das margens do rio dos Elefantes no distrito de Mssingir, na província de Gaza.

1.3.2 Específicos:

- Mapear o uso e cobertura da terra, Declividade, Precipitação e NDVI no distrito de Massingir, como critérios de tomada de decisão;
- Priorizar e hierarquizar os critérios com o método AHP na tomada de decisão sobre as áreas para o reestabelecimento da cobertura florestal nas margens do rio dos Elefantes;
- Produzir e analisar o mapa de áreas sensíveis à degradação no distrito de Massingir e nas margens do rio dos Elefantes.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Restabelecimento da cobertura florestal nativa

A restauração ecológica é uma prática antiga, que visa reconstruir florestas e restabelecer a biodiversidade, estrutura e complexas relações ecológicas das comunidades. Isso envolve a reconstrução gradual da floresta ao longo do tempo, resgatando sua biodiversidade e função ecológica, incluindo outras formas de vida além de árvores, e as funções que cada espécie desempenha, de forma isolada ou em conjunto (TNC, 2015).

Segundo Silva (2019), a restauração da cobertura florestal nativa não apenas promove a recuperação dos ecossistemas, mas também desempenha um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas. Por outro lado, Pérez (2020) destaca que o restabelecimento da cobertura florestal nativa não só contribui para a protecção da biodiversidade, mas também fornece serviços ecossistêmicos essenciais para o bem-estar humano.

2.1.1 Florestas ribeirinhas

As florestas ribeirinhas exercem uma série de serviços ecossistêmicos relacionados à protecção da água, biodiversidade terrestre, e dinâmica de estoques de carbono e de gases de efeito estufa (Gundersen, *et al.*, 2010). Embora esse tipo de vegetação seja extremamente relevante, tem sofrido uma degradação intensa. Devido à maior humidade presente nesse ambiente, a vegetação é comumente removida para dar lugar à actividade agrícola (Araújo, 2009).

A exploração excessiva dos recursos naturais, juntamente com a ausência de boas práticas agrícolas e as condições climáticas do semiárido, caracterizadas por longos períodos de seca, têm causado a degradação da vegetação e o assoreamento de rios e reservatórios devido à erosão do solo. A actividade humana desordenada vem comprometendo a vida do homem, principalmente onde os solos apresentam condições físicas menos propícias a exploração agro-pecuária e colocando em risco as áreas ainda preservadas, porém vulneráveis a acção humana Sousa *et al.*, 2007 citado por (Costa, *et al.*, 2016).

2.2 As áreas de protecção permanente (APP)

As áreas de protecção permanente (APP) são áreas instituídas legalmente que devem possuir vegetação original, cujo objectivo consiste em manter o uso da terra inalterado, sendo áreas de

extrema relevância no papel concernente à protecção dos recursos hídricos e da biodiversidade. (Silva, et al., 2018).

Essas áreas são caracterizadas por florestas na beira de canais, riachos, rios, lagoas e/ ou lagos. A vegetação natural em encostas de alta declividade, bem como em dunas, mangais e outros ecossistemas ameaçados. A característica comum das APP's é que elas são necessárias para manter a vida humana e a sua qualidade. Apesar de serem protegidas por lei, essas áreas sofrem várias ameaças, como as pressões ocasionadas pelo crescimento urbano e da agro-pecuária (Lopes, et al., 2012).

A degradação ambiental nas APP's está directamente ligada à perda da diversidade biológica devido ao uso dos recursos naturais comprometendo a conservação e manutenção da biodiversidade, essa degradação é consequência da actividade humana, ou em alguns casos um fenómeno natural (Freitas, 2020).

Um dos grandes desafios do homem para a conservação ambiental é concentrar os esforços e recursos para preservação e recuperação de áreas naturais consideradas estratégicas, das quais vários ecossistemas são dependentes. Dentre essas se destacam as áreas de preservação permanente, que tem papel vital dentro de uma microbacia, por serem responsáveis pela manutenção e conservação dos ecossistemas ali existentes (Campos, *et al.*, 2020).

2.3 Importância das áreas de preservação permanente (APP)

O estabelecimento das APP's garante a fixação e estabilização dos solos ao longo das margens dos cursos hidrológicos, evitando assim o movimento das partículas do solo para o leito dos cursos de água. Ao mesmo tempo funcionam como filtros que impedem a contaminação das águas, garantindo a sua qualidade natural (Rauen, 2010).

As APP's se constituem em refúgio e alimento para a fauna terrestre e aquática, bem como para os insectos polinizadores de culturas, além de promoverem a fixação de carbono, importante para a manutenção do clima global. Além disso, sua potencial conexão com aplicativos semelhantes ou com áreas de Reserva Legal atua como corredores de fluxo gênico para espécies da flora e fauna (Skorupa, 2003).

2.4 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é o espaço territorial natural da efectiva movimentação e fenomenologia do ciclo hidrológico, sendo composto por um conjunto de redes de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um único leito e ponto de saída (exutório). As características do solo, relevo, cobertura vegetal, entre outros, são factores que interferem na dinâmica do ciclo hidrológico (Da Silva, *et al.*, 2018)

O uso dos recursos naturais em bacias hidrográficas é crescente, ocasionando a aceleração dos processos de degradação ambiental em diversos elementos que compõem o sistema hidrográfico. O processo de ocupação de bacias hidrográficas, sobretudo por actividades do espaço urbano afectam directamente o ambiente natural. Estas modificações devem ser estudadas com o objectivo de minimização dos impactos, o que possibilita o apontamento e adopção de directrizes necessárias à redução da degradação ambiental em bacias hidrográficas. (Lemos Filho, 2020).

2.5 Geotecnologias

As geotecnologias envolvem a coleta, o processamento, a análise e a disponibilização de dados com localização geográfica. Elas consistem em uma combinação de ferramentas de hardware, software e pessoas capacitadas (peopleware), formando um conjunto eficaz para apoiar a tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global, entre outras, (Rosa, 2005), citado por (Martins, 2012).

Segundo Souza (2018), as geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica, são essenciais para identificar áreas prioritárias para a restauração florestal, possibilitando uma análise detalhada do uso da terra e da cobertura vegetal. Essas tecnologias permitem uma avaliação precisa das áreas degradadas, facilitando a escolha de locais que maximizarão o sucesso da restauração. Elas ajudam a mapear a extensão da degradação, a analisar a conectividade com áreas remanescentes de vegetação e a identificar os melhores locais para intervenções.

O uso de drones e imagens de alta resolução tem revolucionado o monitoramento do progresso da restauração florestal, possibilitando uma avaliação detalhada e em tempo real do sucesso dos

projetos. Drones e imagens de alta resolução permitem um acompanhamento contínuo e detalhado das áreas em processo de restauração, oferecendo dados precisos sobre a recuperação da vegetação, a diversidade de espécies e a eficácia das estratégias implementadas (Santos, 2020).

2.5.1 Sensoriamento Remoto

O uso de sensoriamento remoto na identificação de áreas prioritárias para restauração florestal na África é uma prática crucial e comprovadamente eficaz. De acordo com Diogo (2020), essa tecnologia oferece uma abordagem precisa e abrangente para mapear e monitorar a cobertura florestal, fornecendo dados essenciais para a tomada de decisões. Além disso, a integração de dados de sensoriamento remoto com técnicas de modelagem espacial permite uma compreensão mais completa do ambiente florestal e das áreas que necessitam de restauração (Almeida, 2018).

No entanto, a simples identificação de áreas não é suficiente para garantir o sucesso da restauração florestal. Traoré (2019) enfatiza a importância da participação activa das comunidades locais no processo de identificação e restauração, garantindo que as intervenções atendam às necessidades específicas das comunidades e sejam sustentáveis a longo prazo (Traoré, 2019).

2.5.2 Imagens de satélite – LANDSAT

A série de satélites Landsat faz parte de um programa da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA) para o estudo dos recursos naturais da terra. O primeiro satélite (Landsat 1) foi lançado em 1972 e desde então mais sete satélites foram sendo sucessivamente lançados, permitindo uma série de dados ininterrupta desde 1972 (NASA, 2015).

O satélite Landsat 5, equipado com o sensor TM (Thematic Mapper), foi o que permaneceu em operação por mais tempo, entre março de 1984 e novembro de 2011. Actualmente, dois satélites estão activos, o Landsat 7 e o Landsat 8. O satélite Landsat 7 foi lançado a 15 de Abril de 1999 e contém a bordo o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +). Este sensor tem uma resolução temporal de 16 dias e 8 bandas espectrais, das quais seis têm uma resolução espacial de 30 m (NASA, 2000).

2.5.3 Classificação digital de imagens

A classificação de imagens em sensoriamento remoto é o processo de identificar e categorizar feições em imagens obtidas por sensores, traduzindo os padrões de energia eletromagnética refletida em diferentes classes de cobertura terrestre. A classificação supervisionada é a técnica mais utilizada para essa tarefa, na qual um conjunto de dados de treinamento é utilizado para ensinar algoritmos a classificar os pixels da imagem em diferentes categorias. Esses algoritmos, como Máxima Verossimilhança ou Redes Neurais, atribuem cada pixel a uma classe específica, resultando na geração de mapas temáticos que representam a distribuição espacial das classes na área estudada (Lillesand & Kiefer, 1994, *apud* Santos *et al.*, 2019).

2.5.4 Índice de concordância Kappa

O Índice de Concordância Kappa é uma métrica robusta utilizada para avaliar a exatidão de classificações em análises espaciais, particularmente em sensoriamento remoto. Embora a matriz de confusão forneça uma visão geral da precisão de uma classificação, ela se baseia apenas na contagem de acertos ao longo da diagonal principal (onde os valores reais e os classificados coincidem), sem considerar o peso ou a importância das classificações incorretas.

O índice Kappa vai além dessa simples comparação ao medir a concordância entre os mapas de classificação e referência, levando em conta não só os acertos, mas também as discordâncias (erros de omissão e comissão). Dessa forma, ele quantifica o quanto a classificação observada é melhor do que uma classificação aleatória, podendo ter valores entre -1 e 1. Um índice Kappa maior que 0 indica algum grau de concordância entre os valores e 1 indica uma concordância perfeita (Tabela 1).

Tabela 1. Escala fundamental de Landis e Koch

Índice Kappa	Desempenho da classificação
0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Mau
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito bom

$0,8 < k \leq 0,1$	Excelente
--------------------	-----------

Fonte: Landis e Koch (1977)

2.5.4.1 Algoritmo de Máxima Verossimilhança

De acordo com Sousa (2018), o Método da Máxima Verossimilhança busca determinar a estimativa que maximiza a chance de que uma amostra tenha ocorrido, com base na distribuição do parâmetro populacional que não é conhecido. Neste método, a função de probabilidade associada às variáveis aleatórias da amostra é tratada como uma função do parâmetro populacional. O objetivo é identificar o valor do parâmetro que torna a ocorrência da amostra observada mais provável, fornecendo assim a estimativa mais verossímil para o parâmetro em questão.

2.6 Abordagem multicriterial no suporte à tomada de decisões

A utilização da análise multicriterial representa uma valiosa ferramenta no suporte à tomada de decisões, uma vez que visa avaliar alternativas por meio de diversos critérios, contribuindo para decisões mais seguras. Essa abordagem procura classificar as opções com base nos factores de relevância previamente identificados, visando à seleção da melhor alternativa diante dos desafios enfrentados (Campos, 2011). Diversos métodos de análise multicritério estão disponíveis com o propósito de se adaptarem às situações específicas, facilitando a escolha das alternativas conforme a definição e avaliação dos critérios identificados (Gomes *et al.*, 2011).

A principal distinção entre os métodos de tomada de decisão multicritérios e outros reside na sua capacidade de levar em conta vários aspectos, avaliando as ações por meio de um conjunto de critérios. A partir de cada conjunto, é derivada uma função matemática que é utilizada para mensurar o desempenho de cada ação (Ensslin, 2001).

2.6.1 O processo de modelagem e decisão no AHP

O AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma ferramenta de suporte à tomada de decisão em situações que envolvem múltiplos critérios e alternativas. Reconhecido como o método multicritério mais utilizado globalmente (Gomes, 2007), é também o que possui maior número de publicações em periódicos científicos, conforme Wallenius *et al.* (2008). Saaty (2013) destaca seu

uso em áreas como decisões militares, gestão empresarial, economia e até em conflitos internacionais. O principal atributo do AHP é sua capacidade de integrar aspectos quantitativos e qualitativos, fundamentados em julgamentos e utilizando uma escala de importância. Isso possibilita a consideração de diversos fatores na tomada de decisões complexas.

A estrutura do AHP baseia-se em uma árvore de decisão hierárquica composta por três elementos: o **objetivo**, que representa a meta a ser atingida; os **critérios**, que orientam a decisão e podem ser subdivididos em subcritérios (Retchless, 2005); e as **alternativas**, que são as opções avaliadas para determinar a melhor escolha.

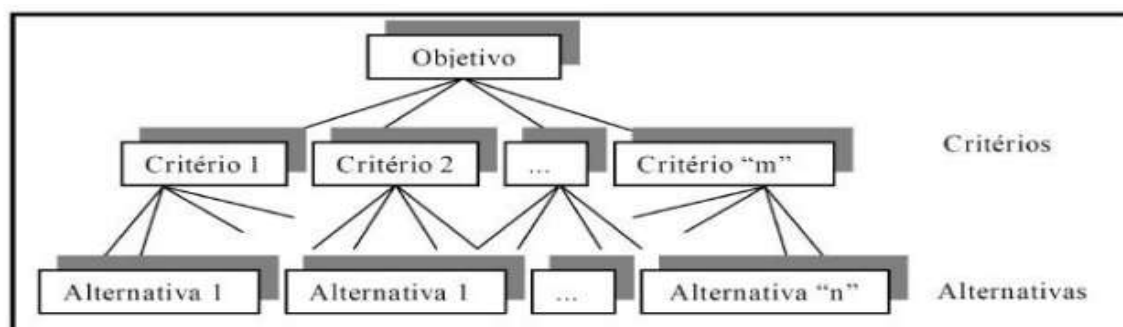


Figura 1. Árvore de decisão da estrutura hierárquica do AHP

Fonte: Marins, Souza, Barros (2009)

2.6.2 O processo de modelagem e decisão no AHP

Retchless (2005) afirma que o processo decisório geralmente segue quatro etapas principais: identificação do problema, desenvolvimento de alternativas, avaliação das alternativas e implementação da melhor escolha. Entre essas etapas, a avaliação das alternativas é considerada a mais crítica, demandando maior atenção. Saaty (2008) detalha o uso do AHP para decompor as decisões, enquanto Chan (2004) destaca a importância de um último passo: o cálculo do índice de consistência (IC), que, se insatisfatório, requer a revisão dos julgamentos. Estas etapas são apresentadas no Tabela 2.

Tabela 2. Processo para decompor a decisão no AHP – 5 passos

Passo	Execução
1	Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento procurado.
2	Estruturar a hierarquia de decisões a partir do topo, com o objetivo da decisão, nos níveis intermediários (critérios para os quais os elementos subsequentes dependem), para o nível mais baixo (que é geralmente um conjunto de alternativas).
3	Construir um conjunto de matrizes de comparação de pares.
4	Usar as prioridades obtidas das comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente abaixo e obter sua prioridade total ou global. Continuar o processo de comparação entre critérios e entre alternativas.
5	Calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos

Fonte: Adaptado de Saaty (2008) e Chan (2004)

Peso dos critérios nas hierarquias

A Matriz de comparação em pares, ou paritárias, (também chama de matriz de julgamentos) é construída a partir da comparação entre dois itens, ela pode ser elaborada entre os critérios existentes assim como entre as alternativas disponíveis. O peso atribuído a critérios e alternativas é determinante na decisão apontada pelo método.

Os pesos são atribuídos através de comparações pareadas, onde os decisores julgam a importância relativa de um critério em relação a outro. Ainda segundo esses mesmos actores essas comparações são usadas para calcular os pesos de forma consistente e matematicamente precisa, garantido que as preferências dos decisores sejam levadas em consideração de maneira coerente (Lima *et al*, 2015).

2.7 Abordagem multicriterial no suporte à tomada de decisões em alguns estudos

Em Malawi, Kafumbata (2015), aplicou a análise multicritério para a gestão sustentável de florestas em áreas rurais, utilizando factores como a pressão sobre os recursos florestais, benefícios econômicos locais e potencial de recuperação. Este estudo mostrou como a AMC pode ajudar na gestão sustentável de recursos naturais em contextos rurais.

Em Moçambique, no distrito de Boane no seu estudo, Nhanengue (2024), usou a abordagem multicritério para tomada de decisão, envolvendo factores como a Declividade, Hipsometria, Uso e cobertura, Tipos de solos, Cursos de água, Precipitação e Temperatura para identificação de áreas susceptíveis às inundações, como ferramenta de apoio a mitigação dos efeitos desse fenómeno.

Na Zâmbia, Kalaba *et al.* (2019), aplicaram a análise multicriterial para planear a gestão sustentável de recursos florestais na região do Parque Nacional Kafue. Os critérios incluíram o uso da terra, a biodiversidade e os benefícios económicos, permitindo priorizar áreas para restauração e conservação. Os resultados demonstraram que a abordagem multicritério pode apoiar efetivamente a tomada de decisões complexas em áreas protegidas.

No Quênia, Wangai *et al.* (2019), basearam-se na mesma técnica para identificar áreas prioritárias para a restauração de ecossistemas de montanha no Monte Quênia. Eles consideraram critérios como a qualidade do solo, a biodiversidade e o impacto das mudanças climáticas, destacando a importância de integrar diversas fontes de dados para decisões informadas sobre restauração ambiental.

2.7.1 Critérios de tomada de decisão

2.7.1.1 Declividade

A declividade de uma vertente é o grau de inclinação que esta apresenta em relação a um eixo horizontal. Ou seja, vertentes mais inclinadas têm uma declividade maior. Relevos mais inclinados, podem receber diversas denominações, como: ondulados, movimentados, declivosos, entre outros (Nowatzki, 2009) *apud* (Porfirio, 2023). A declividade influencia directamente a estabilidade do solo, a erosão e a viabilidade de plantio, pois terrenos com inclinações acentuadas são mais suscetíveis à erosão, que pode levar à perda de nutrientes do solo e dificultar o estabelecimento de novas plantas. A declividade também afecta a acessibilidade para práticas de manejo e a implementação de técnicas de conservação do solo (Wang *et al.* 2010).

2.7.1.2 Precipitação

Para Tucci (1993), a precipitação é toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Por sua capacidade de produzir escoamento. Para Burges *et al.* (2015), na Jamaica, a

análise da precipitação é um factor importante para projectos de infraestrutura de controle de inundações, principalmente por conta da possibilidade de aumento da intensidades influenciado pelas mudanças climáticas.

Segundo Noriah e Rakhecha (2001), em Selangor, Malásia, a precipitação é influenciada pelas monções de sudoeste e nordeste, com precipitações atingindo as máximas ocorrendo nos meses entre as monções, devido às tempestades severas que ocorrem com muita frequência. Os maiores valores diários de precipitação para o sudeste da Malásia podem variar de 250 mm ao longo da costa a 175 mm no interior.

De acordo com Chazdon (2008), precipitação é um fator determinante para a disponibilidade de água e é essencial para o crescimento das plantas, portanto a restauração florestal em áreas com precipitação adequada tem maior probabilidade de sucesso, pois as condições hídricas favoráveis promovem o crescimento e a sobrevivência das espécies plantadas. A precipitação também influencia o microclima e a dinâmica de nutrientes no solo, fatores críticos para a recuperação de ecossistemas degradados.

2.7.1.3 Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo fornecem informações sobre a pressão antrópica e a degradação do solo, áreas previamente utilizadas para agricultura intensiva ou urbanização podem estar severamente degradadas, necessitando de intervenções específicas para a recuperação do solo e da vegetação. A análise do uso e ocupação do solo ajuda a identificar áreas onde a restauração é mais necessária devido ao alto grau de degradação, bem como áreas que podem fornecer serviços ecossistêmicos importantes uma vez restauradas (Lamb *et al.*, 2005).

2.7.1.4 NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o índice de vegetação mais amplamente utilizado globalmente, destacando-se como o mais popular entre os demais. Sua aplicação é extensa na caracterização da biomassa de formações florestais, bem como na análise de sua distribuição espacial e temporal. Este tem sido uma ferramenta essencial para o monitoramento e avaliação da vegetação, permitindo a caracterização de parâmetros biofísicos

por meio de valores normalizados que variam de -1 a 1, facilitando assim uma análise precisa das condições vegetativas (Vieira *et al.*, 2023).

Janssen *et al.* (2018) *apud* Barros *et al.* (2020) sustentam que o NDVI tem sido extensivamente utilizado no mapeamento da cobertura vegetal devido à sua alta sensibilidade tanto para áreas com vegetação esparsa quanto para vegetação densa. Embora existam diversos índices de vegetação disponíveis, cada um com suas vantagens e limitações, a precisão do NDVI é crucial para garantir a robustez dos modelos que dependem desse índice.

O NDVI é uma ferramenta eficaz para identificar áreas com baixa cobertura vegetal, permitindo a identificar regiões que necessitam de esforços de restauração para melhorar a cobertura vegetal e a saúde do ecossistema. O NDVI também ajuda a monitorar o progresso da restauração ao longo do tempo, fornecendo dados importantes para ajustar estratégias e práticas de manejo (Pettorelli *et al.*, 2005).

No estudo conduzido por Bagherzadeh *et al.* (2020), foi demonstrada a eficácia do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como uma ferramenta robusta para capturar e expressar a variabilidade da cobertura florestal em ambientes de clima semiárido, e como esse índice é particularmente relevante para o planejamento e a implementação de programas de restauração ecológica em escala de bacias hidrográficas.

III METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

O distrito de massingir está localizado a Norte da província de Gaza, sendo limitado a Norte pelo distrito de Chicualacuala, a Sul pelo distrito de Magude. A Este pelos distritos de Mabalane e Chókwe e a Oeste pela Republica da África do Sul (MAE, 2005).O distrito apresenta uma superfície de 5893 km² e uma população de 27.757 habitantes, o distrito de Massingir tem uma densidade populacional de 4,7 hab/km² (MAE, 2005).

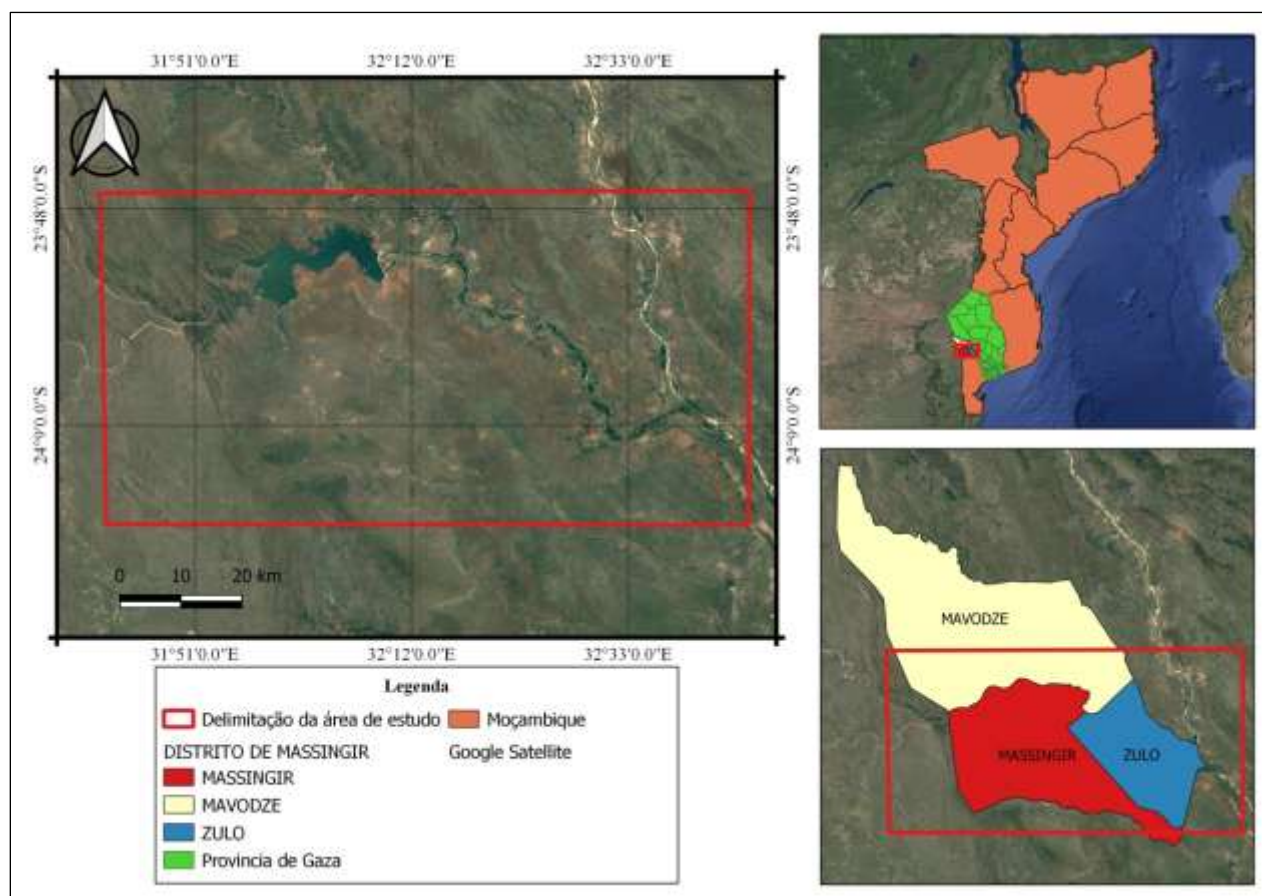


Figura 2: Mapa de Localização da área de estudo

3.1.1 Clima e Hidrografia

O clima do distrito de Massingir é dominado por zonas do tipo semi-árido seco, com temperaturas médias anuais de 30 C e precipitações de 600mm, com uma evapotranspiração potencial de referência geralmente superior a 1500 mm. Essas condições são agravadas pela irregularidade da

quantidade de precipitação ao longo da estação chuvosa e, por conseguinte a ocorrência de frequentes períodos secos durante o período de crescimento das culturas (MAE, 2005).

Os principais rios que atravessam o distrito de Massingir são o Rio dos Elefantes e Mazimulhpe, de caudal permanente e Chingedzi, Machapane, Benhuca, Zambalala, Chivambalane, Nhamvotso, Nhapombe e Inatcozoane, de caudal temporário (MAE, 2005).

3.1.2 Solos

De acordo com Barbosa (1999), os solos da região incluem solos arenosos, caracterizados por baixa fertilidade e capacidade de retenção de água, comuns em áreas de savana arbustiva; solos argilosos, encontrados em áreas de savana arborizada e florestas abertas, que possuem maior capacidade de retenção de água e nutrientes, suportando uma vegetação mais densa e diversificada; e solos aluviais, presentes ao longo dos cursos d'água e margens da barragem, que são mais férteis devido à deposição de sedimentos, suportando uma vegetação ripária exuberante (Barbosa, 1999).

3.1.3 Vegetação

Segundo Barbosa (1999), a vegetação da região de Massingir pode ser classificada em savana arbustiva, dominada por arbustos e árvores de pequeno porte como Acácias e Combretum; savana arborizada, com árvores de médio porte como Miombo (*Brachystegia spp.*) e Mopane (*Colophospermum mopane*); e floresta aberta, que é caracterizada por árvores maiores e mais espaçadas, permitindo o crescimento de gramíneas densas. Ao longo dos cursos de água e margens da barragem de Massingir, a vegetação inclui espécies como *Ficus sycomorus* e *Syzygium cordatum* (Barbosa, 1999; White, 1983).

3.2 Materiais

Para a realização do trabalho, foram necessários os materiais descritos na Tabela 3 e a sua respectiva função.

Tabela 3: Materiais usados para a realização do trabalho.

Material	Função
Computador	Processamento, manipulação e gerenciamento dos dados.
Software QGIS 2.18.21 e	Pré-processamento e processamento; correcção e classificação de imagens de satélite
Software GoogleEarth	Confirmação, verificação e validação das classes mapeadas e selecionadas
Microsoft Excel 2010	Processamento dos dados
Imagens de Satélite (Landsat-8 OLI)	Aquisição de imagens disponibilizadas
GPS	Marcação das coordenadas nas parcelas
Ficha de campo	Registo de dados de campo

3.3 Procedimentos metodológicos

Para a realização do trabalho foram seguidas as etapas descritas na Figura 3:

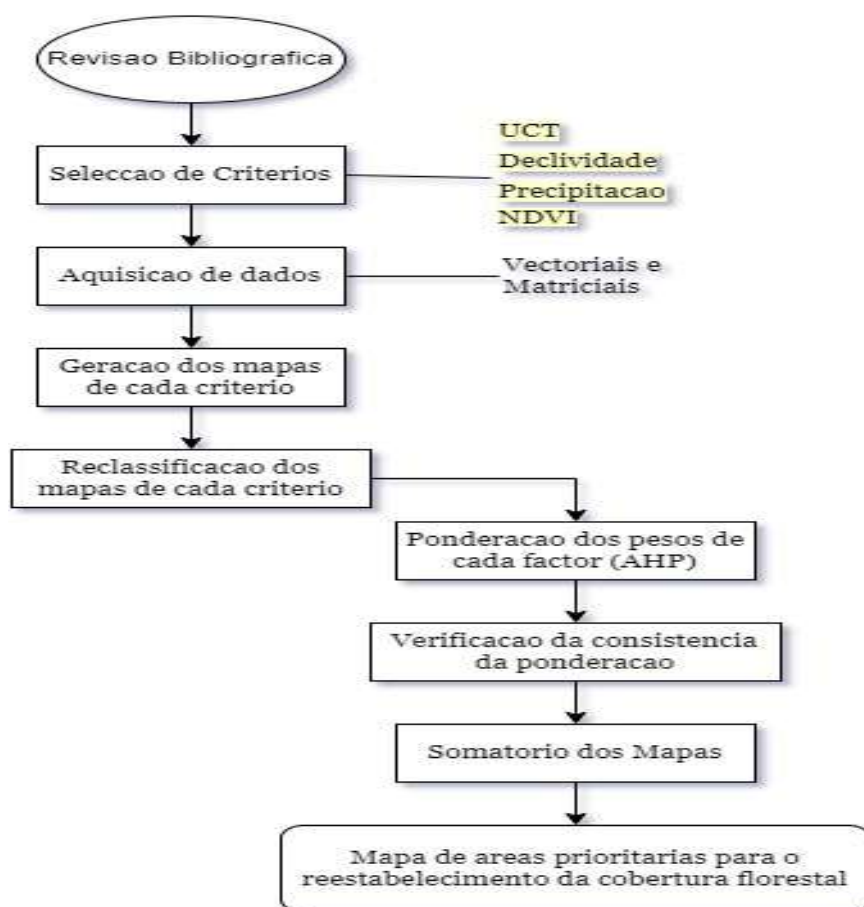


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos

3.3.1 Aquisição das imagens de satélite

As imagens de satélite Landsat-8 OLI, foram adquiridas gratuitamente através do *site* da USGS: <http://www.usgs.gov>. De acordo com (Soares, 2017), o sensor OLI possui resolução espacial de 15m no Pancromático e de 30 m no Multiespectral, o que possibilita a geração de imagens de 15m coloridas através de técnicas de fusão digital.

As imagens adquiridas para o estudo são referentes ao mês de Agosto do ano de 2023, período considerado de menor presença de nuvens, otimizando assim a clareza e a precisão das observações.

3.3.2 Pré-processamento

3.3.2.1 Georreferenciamento

Após a aquisição, as imagens foram convertidas e georreferenciadas para o sistema de coordenadas WGS 84/UTM Zone 36S. Isso foi feito usando QGIS, para assegurar que cada ponto na imagem corresponda a uma localização precisa no terreno.

3.3.2.2 Correção atmosférica

A correção atmosférica foi feita acessando-se o painel do (*SCP na aba de pré-processamento no software Quantum GIS 2.18*) e selecionou-se o método de correção atmosférica (*DOS1*), onde os parâmetros necessários incluíram a seleção das bandas do Landsat 8, a escolha de uma imagem de referência, a inserção do albedo da superfície e o valor de AOD. Após ter se preenchido esses parâmetros, gerou-se a imagem corrigida. Este passo é crucial para a eliminação dos efeitos de dispersão atmosférica em dados multiespectrais, resultando em imagens mais representativas das condições reais (Chavez, 1988).

3.3.2.3 Composição das bandas

Para uma composição de cores verdadeira usada para o mapa de uso e cobertura de terra, utilizou-se as bandas R-4, G-3, B-2. (No painel *Layers-Properties-Symbology*), configurou-se o (*Render type*) como (*Multiband color*). Em seguida, aplicou-se e visualizou-se a imagem. Para uma composição de cor falsa usada para o mapa de NDVI, carregou-se as bandas e usou-se

combinações como as bandas R-4, G-3 e B-5. Configurou-se o "*Render type*" como "*Multiband color*" na aba "*Symbology*", Após aplicar, visualizou-se a imagem em cores falsas.

3.3.2.4 Delimitação da área de estudo

A delimitação da área de estudo foi feita com base nos limites do distrito de Massingir, utilizando o ficheiro vetorial fornecido pela base de dados do CENACARTA. Esse processo foi executado com o auxílio da ferramenta *Clip* do Quantum GIS (QGIS) versão 2.18.21. Posteriormente, a delimitação do leito do rio dos Elefantes foi feita manualmente, seguindo os limites da bacia hidrográfica no software Google Earth, utilizando a ferramenta de zoom para visualizar detalhes e delimitando o leito do rio, adicionando pontos ao longo do curso e acompanhando suas curvas, com o apoio de imagens históricas para verificar a consistência do curso.

Apos a delimitação do leito de rio, foi feita a geração do buffer do mesmo, onde foi carregada a camada do Rio dos Elefantes no QGIS, acessado o menu "*Vector*" > "*Geoprocessing*" > "*Buffer*", selecionada a camada do rio como entrada e definida a distância de 100 metros como está estabelecido nos termos da lei de acordo com o REGULAMNETO DA LEI DE TERRAS através do Decreto nº. 66/98 De 8 de Dezembro, no seu artigo 5 para rios com 50 a 200m de largura.

3.3.3 Processamento

3.3.4 Elaboração dos mapas dos factores ou critérios

Para a modelação das áreas prioritárias para a recuperação florestal no Distrito de Massingir foram selecionadas critérios (factores) que tem a capacidade de tornar a área de estudo sensível a perda de cobertura florestal. A seleção dos critérios foi baseada nas características de interesse que a paisagem apresenta que ao mesmo tempo auxiliam na definição dos locais aptos e prioritários para o reestabelecimento da cobertura florestal, bem como em estudos anteriores como Catelane, *et al.* 2007), Valente (2005) e Vetorazzi (2006), que também utilizaram variáveis semelhantes para determinação de áreas prioritárias no contexto ambiental, aplicando a abordagem multicriterial. Os criterios selecionadas neste estudo são os tipos de uso e cobertura De terra, a declividade, a precipitação média, e o NDVI.

3.3.4.1 Uso e cobertura de terra

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura de terra, as imagens de satélite foram importadas no software QGIS onde foi feita a classificação de uso da terra que consistiu em acessar o plugin "*Processamento*" > "*Caixa de Ferramentas*" e se buscar por *Classificação Supervisionada*, escolher a técnica de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança e dividir a imagem em áreas de treinamento representativas das diferentes classes de uso da terra, e posteriormente foi feito o treinamento, clicando na ferramenta. Após o treinamento, foi usada a ferramenta de classificação para aplicar o modelo treinado à imagem completa que foi classificada em diferentes classes de uso da terra com base nas características espectrais aprendidas durante o treinamento.

A chave de classificação foi elaborada com base na análise das feições da área de estudo, considerando as imagens utilizadas na interpretação da imagem do Google Satellite, complementadas pela observação directa no campo, portanto, a chave de classificação do uso e cobertura de terra compreendeu as seguintes classes: Corpos de Água, Habitação / Solo exposto, Pradaria/ Agricultura, Matagal/Vegetação Arbustiva, Floresta de mopane denso. A chave de classificação aplicada está representada na Tabela 4.

Tabela 4. Chave de classificação do uso e cobertura de terra

Clases de uso e cobertura de terra	Imagens	Descrição
Corpos de água		Áreas ocupadas por água
Habitação/ solo exposto		Áreas ocupadas por habitação, que geralmente são muito expostas

Pradaria/ Agricultura		Áreas ocupadas por gramíneas, ervas, arbustos e campos de machambas.
Matagal/ V. Arbustiva		Áreas maioritariamente de arbustos com algumas árvores esparsas
Floresta de Mopane		Áreas ocupadas por caracterizadas pela dominância de árvores de Mopane

Fonte: Autor

3.3.4.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Com recurso o *software Quantum GIS 2.18.21* foram usadas imagens para a obtenção do NDVI pela razão entre a diferença da refletância do infravermelho próximo (NIR) e a refletância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas, destaca (Allen, 2002). Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Rouse (1973) propôs a Equação1:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

Onde:

NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada;

NIR – Near Infrared (Infravermelho próximo);

R –Red (Vermelho).

Após o cálculo do NDVI, exportou-se o mapa com as classes e a sua respectiva interpretação, de acordo com a escala de Rouse *et al.* (1973), apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Classes de NDVI

Classes de NDVI	Classificação	Fonte
-0,0404 - 0,1496	areas sem vegetacao, corpos de agua e areas habitacionais	Rouse <i>et al.</i> (1973)
0,1495 - 0,3397	vegetação esparsa, seca ou em recuperação	
0,3397 - 0,5298	vegetação moderadamente densa	
0,5298- 0,7198	Densa e vigorosa	
0,7198 - 0,9099	Extremamente densa e vigorosa	

3.3.4.3 Declividade

O mapa da declividade foi elaborado a partir do Modelo digital do terreno do distrito de Massingir, utilizando dados de altimetria para capturar detalhes precisos da topografia tanto na área do distrito quanto nas margens do rio.

Os dados de elevação foram importados no QGIS usando o botão "*Adicionar Camada*" para seleccionar o arquivo que continha os dados de elevação. Foi calculada a declividade utilizando a ferramenta *Raster > Análise > declividade* para calcular a declividade do terreno. Seleccionando a camada do MDE como entrada, e exportado o mapa de declividade com intensidades em porcentagem e agrupados em intervalos de classes, conforme apresentadas na Tabela 6, de acordo com Zahawi *et al.* (2021).

Tabela 6. Classes de Declividade

Classes	Classificação	Fonte
0 - 5	Plano ou Suave	Zahawi <i>et al.</i> (2021)
5 - 10	Moderadamente Inclinada	
10 - 20	Inclinada	
20 - 30	Fortemente Inclinada	
> 30	Muito Inclinada ou Escarpada	

3.3.4.4 Precipitação

O mapa da precipitação foi elaborado a partir dos dados históricos de precipitação obtidos através da bases de dados da www.wolrdclim.com.org que posteriormente foram analisados a sua variabilidade temporal, para facilitar na classificação zonal de acordo com o factor de

precipitação, atribuindo valores ou categorias que representem a intensidade ou magnitude da precipitação em cada zona, de acordo Peel *et al.* (2007), apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Classes de Precipitação

Classes de Precipitação (mm/ano)	Classificação	Fonte
< 250	Áreas áridas ou desérticas.	Peel et al. (2007)
250 - 500	Regiões semiáridas ou com baixa precipitação.	
500 - 1000	Áreas com precipitação moderada, como algumas regiões temperadas.	
1000 - 2000	Regiões com alta pluviosidade, como florestas tropicais.	
> 2000	Áreas extremamente chuvosas, como regiões tropicais ou montanhosas.	

3.3.5 Aplicação do método AHP no processo de tomada de decisão

Com o Analytic Hierarchy Process (AHP), comparou-se e ponderou-se os critérios seleccionados. A construção da matriz de pesos dos critérios no AHP envolveu comparações pareadas utilizando a escala fundamental proposta por Saaty (1980) apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Escala fundamental proposta por Saaty

Grau de importância Relativa	Classificação	Fonte
1 a 1	Igual importância	Saaty (1988)
1 a 1/3	importância pequena de uma sobre a outra	
1 – 1/5	importância grande ou essencial	
1 – 1/7	importância muito maior ou demonstrada	
1 – 1/9	importancia absoluta	
2, 4, 6, e 8	valores intermediaries	

3.3.6 Reclassificação dos mapas dos factores

Devido às diferentes escalas utilizadas na mensuração dos factores, foi necessário realizar uma padronização entre os valores dos factores, de modo que todos os mapas estivessem na mesma

escala e pudessem ser correlacionados. Para tal, realizou-se uma reclassificação dos mapas de cada factor, de acordo com a prioridade de intervenção ambiental (Tabela 9).

Tabela 9. Reclassificação dos mapas de cada factor

Critérios	Classificação da Intensidade				
	Muito baixa	baixa	Moderada	Alta	Muito alta
Declividade (%)	0 - 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	>30
Precipitação (mm/ano)	< 500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000
NDVI	< 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.8	> 0.8
Uso e ocupação	Corpos de água	Floresta de Mopane	Matagal/ V. Arbustiva	Pradaria/ Agricultura	Habituação/ solo exposto

3.3.7 Matriz de comparação pareada

A matriz de comparação (AHP), foi elaborada utilizando a escala fundamental proposta por Saaty (1980) apresentada na Tabela 2, definindo assim a importância entre os factores, para tal utilizou-se o programa **AHP Calculator** disponibilizado no website: <https://bpmmsg.com/ahp/>. Este processo consiste na construção de uma matriz de comparação par a par de cada um dos factores.

Tabela 10. Matriz de comparação pareada

Critérios	NDVI	Declividade	Precipitação	UCT
NDVI	1	0.5	0.5	0.5
Declividade	2	1	0.6	1
Precipitação	2	1.5	1	1.5
UCT	2	1	0.67	1
Soma	7	4	2.77	4

Fonte Autor

Depois da construção da matriz de comparação pareada, segue-se a normalização dos dados da matriz de comparação pareada (Tabela 11), que baseia-se em ajustar os valores da matriz para que

cada critério possa ser comparado de forma relativa, garantindo que a soma dos valores de cada coluna seja igual a 1. Portanto, a normalização da matriz, é através da divisão de cada elemento de uma coluna pelo somatório dos elementos dessa mesma coluna.

Tabela 11. Matriz de comparação pareada normalizada

Critérios	NDVI	Declividade	Precipitação	UCT
NDVI	0.14	0.13	0.18	0.13
Declividade	0.29	0.25	0.22	0.25
Precipitação	0.29	0.38	0.36	0.38
UCT	0.29	0.25	0.24	0.25
Total	1	1	1	1

Fonte: Autor

3.3.8 Determinação dos pesos

Para a obtenção dos pesos de cada critério, primeiramente calculou-se a proporção de cada valor na matriz de comparação em relação à soma total dos valores na coluna correspondente. De seguida, foi determinada a média aritmética dos valores proporcionais para cada linha da matriz e obteve-se os pesos apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Pesos dos criterios

Critério	Peso
NDVI	0.14
Declividade	0.26
Precipitação	0.35
UCT	0.26

Fonte: Autor

3.3.9 Verificação da consistência da matriz pareada

A consistência da matriz pareada diz respeito à coerência das comparações feitas entre os critérios. Uma matriz de comparação pareada é considerada consistente quando as relações de prioridade estabelecidas entre os elementos são logicamente coerentes e atendem às propriedades de transitividade, significando que se um critério A é considerado mais importante que o critério

B, e B é mais importante que C, então A deve ser mais importante que C. De acordo com Saaty (1987), uma Razão de Consistência próxima de zero indica maior coerência nos pesos atribuídos, portanto, a Razão de Consistência deve ser inferior a 0,1 (10%) para garantir a validade dos resultados. Para calcular a Razão de Consistência, primeiro determina-se o Maior Autovector ($\lambda_{\max}$) da matriz de comparação e de seguida, calcula-se o Índice de Consistência (CI).

3.3.10 Maior Autovector ($\lambda_{\max}$)

Para determinar o maior autovetor ($\lambda_{\max}$) multiplica-se o somatório dos elementos de cada coluna da matriz de comparação dos factores pelo peso associado ao factor correspondente.

$$Av = \lambda v$$

Onde:

- A = Matriz de comparação,
- v = vector próprio (Auto vector),
- λ = Autovalor.

3.3.11 Índice de consistência (IC)

A determinação do índice de consistência foi realizada através da seguinte fórmula:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Onde: n = numero de factores.

3.3.12 Índice randômico (IR)

O Índice randômico (RI), conforme proposto por Saaty, é um valor tabelado que representa o índice médio de consistência para matrizes de comparação aleatórias, é utilizado para normalizar o Índice de Consistência (CI) e calcular a Razão de Consistência (CR).

Razão de Consistência (RC) é calculada para verificar a racionalidade e a coerência das comparações feitas entre os critérios, é determinada a partir da seguinte equação:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Uso e cobertura da terra no distrito de Massingir

O mapa temático representado pela figura 4 indica as classes de uso e cobertura da terra no Distrito de Massingir, para o ano de 2023.

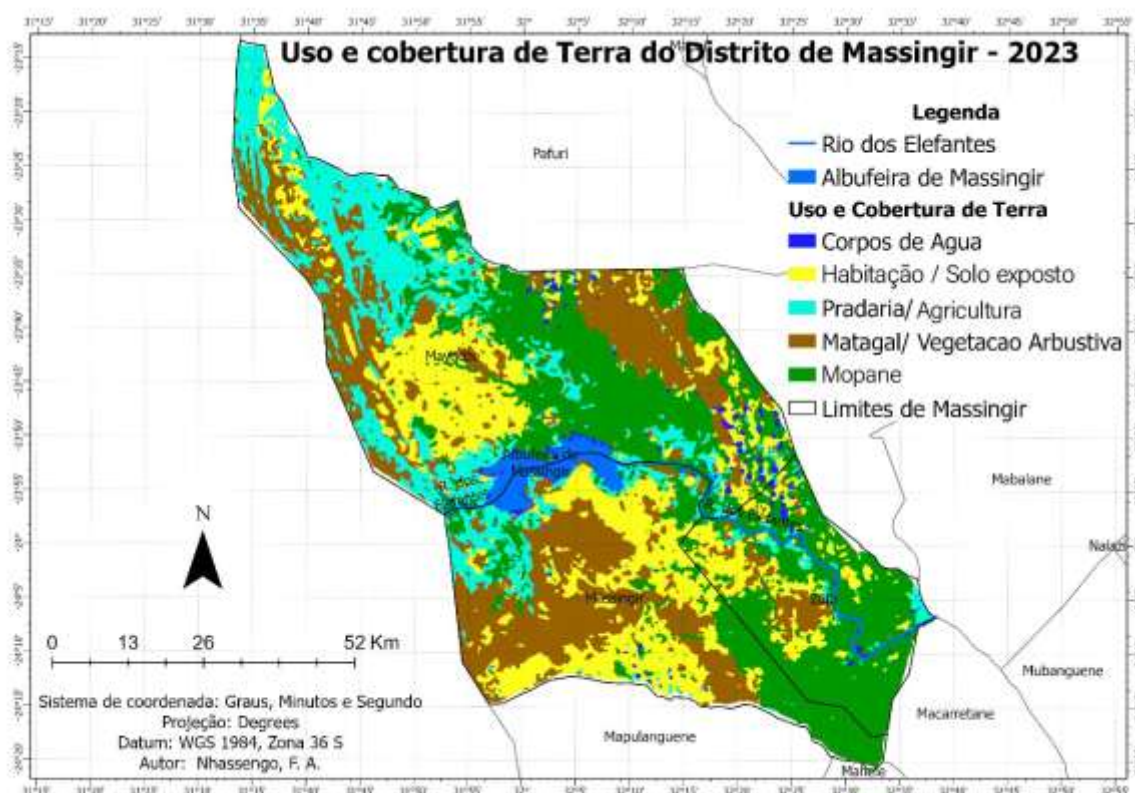


Figura 4. Mapa temático do Uso e Cobertura de Terra do limite distrital de Massingir

O rio dos Elefantes e a Albufeira de Massingir, estão representados pela cor azul claro. As áreas de habitação e os solos expostos estão representados pela cor amarela, enquanto as regiões de pradaria e savana estão representadas pela cor verde claro. A vegetação arbustiva e áreas de matagal estão representadas pela cor castanha, e por fim as áreas de floresta densa estão representadas em verde escuro. Detalhes sobre as áreas ocupadas por cada classe estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13. Classes de Uso e Cobertura de Terra e as suas respectivas áreas

Classe	Área km²	Área (%)
Corpos de Água	189.29	3.35
Habitação / Solo exposto	1,259.84	22.31
Pradaria/ Agricultura	957.14	17.04
Matagal/Vegetação Arbustiva	1,469.19	26.08
Floresta Mopane	1,761.19	31.22
Total	5632.47	100

Com base no mapa da Figura 4 e da Tabela 13, pode se notar que os corpos de água ocupam uma extensão de 189.29 km², representando cerca 3.35% da área total. As áreas de habitação e solo exposto correspondem cerca de 1.259,84 km², o que equivale a 22.31%. A pradaria e Agricultura abrangem 957.14 km², representando 17,04% do total. O matagal e vegetação arbustiva ocupam uma área de cerca de 1,469.19 km², correspondendo a 26.08%. Por fim, a vegetação de Mopane é a categoria com a maior cobertura, totalizando 1,761.19 km², o que representa 31.22% da área analisada do distrito.

Esses resultados sugerem que o distrito de Massingir apresenta uma combinação de actividades agrícolas, pecuária e áreas naturais, com zonas dedicadas a agricultura, especialmente em solos férteis próximos a cursos da água. As áreas habitadas mostram uma presença de construções e infraestruturas, que coexistem com espaços destinados à agricultura familiar e práticas de subsistência. A exploração dos recursos naturais, como a extração de madeira e a criação de gado, também desempenha um papel importante, refletindo uma interação entre as actividades humanas e o ambiente.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Mazuze (2016), no seu estudo sobre a Análise da dinâmica espacial (2000-2010) do uso e cobertura do solo no Distrito de Chókwè, onde obteve as seguintes classes e suas respectivas percentagens em termos de áreas: Agricultura (17.8); Habitação/Solo exposto (36.44); Matagal (7.47); Água (1.48); Floresta/Arbustos (36.81).

Esses resultados apresentam semelhanças pelo facto de serem influenciados pelas mesmas condições edafoclimáticas e ao mesmo tempo por apresentarem quase o mesmo tipo de uso de terra.

4.2 Avaliação da classificação do mapa de uso e cobertura

A Tabela 14 apresenta os resultados da avaliação da classificação do mapa de uso e cobertura através do valor de coeficiente Kappa.

Tabela 14. Avaliação da classificação

Verdade\ Preditado	Corpos de Água	Habitação / Solo exposto	Pradaria / Agricultura	Matagal / Vegetação Arbustiva	Mopane Aberto
Corpos de Água	40	3	1	4	2
Habitação / Solo exposto	2	41	0	5	2
Pradaria / Agricultura	0	4	41	2	3
Matagal / Vegetação Arbustiva	4	1	3	39	3
Mopane Aberto	3	1	5	2	39
Índice Global (Overall Accuracy): 0.82 (ou 82%)					
Coeficiente Kappa: 0.76					

A validação da classificação do mapa de uso e cobertura de terra teve como resultado uma acurácia global de 82% e um valor de coeficiente Kappa de 76%, que é classificado como “muito bom” de acordo com a escala proposta Landis e Koch (1977), apresentada na Tabela 2.

4.3 Declividade no distrito de Massingir

A Figura 5 representa o mapa de declividade do distrito de Massingir, onde as áreas representadas pela cor vermelha indicam terrenos com declividade acentuada, enquanto que as áreas

representadas pela cor verde escuro indicam terrenos com menos grau de declividade. Para uma melhor análise quantitativa os resultados podem ser observados na Tabela 15.

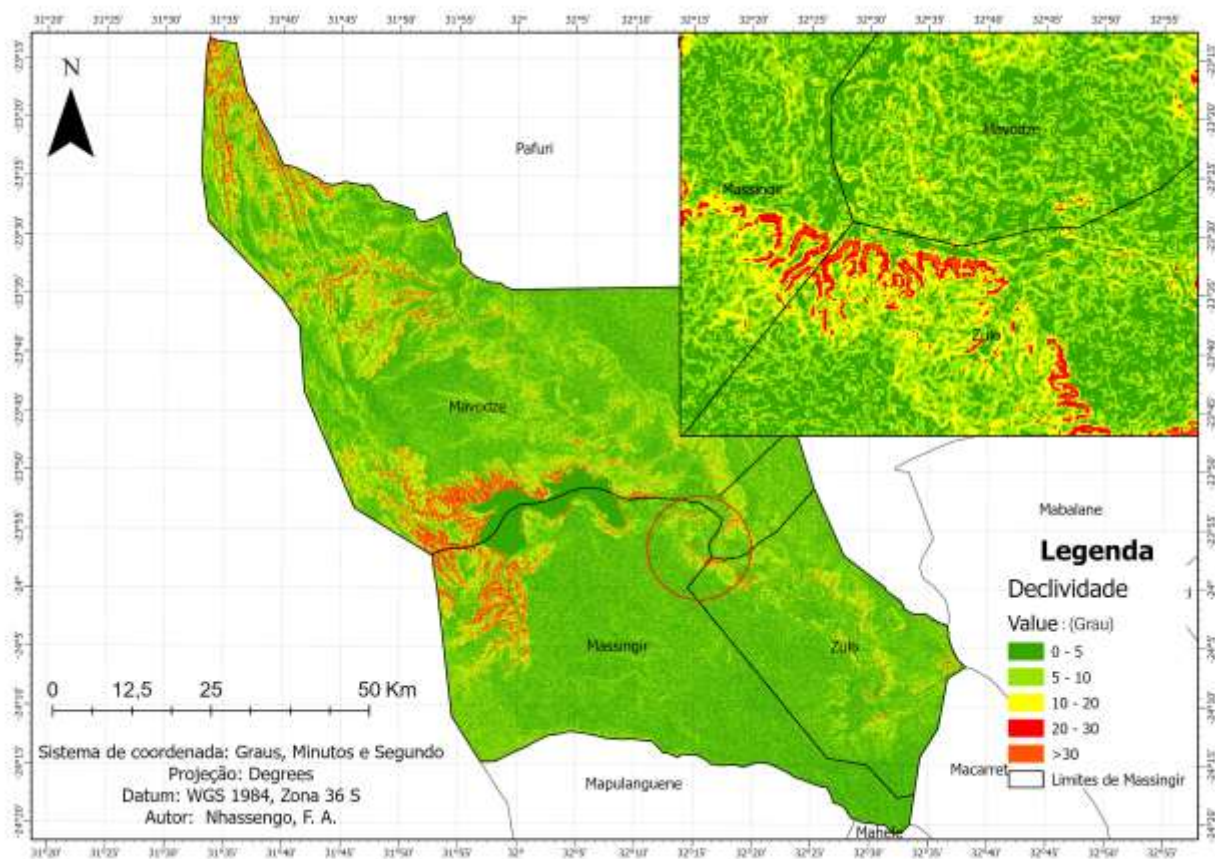


Figura 5. Mapa temático da Declividade do limite distrital de Massingir.

A Tabela 15 apresenta a classificação das áreas de estudo com base nas diferentes classes de declividade. A tabela quantifica as áreas correspondentes a cada classe de declividade.

Tabela 15. Classes de Declividade e as suas respectivas áreas

Classes	Classificação	Área (Km²)	Área (%)
0 – 5	Plano ou Suave	4,615.98	82.16%
5 – 10	Moderadamente Inclinação	878.16	15.59%
10 – 20	Inclinação	122.51	2.18%
20 – 30	Fortemente Inclinação	3.95	0.07%
> 30	Muito Inclinação ou Escarpada	0.07	0.0012%
Total		5,632.47	100%

A partir da Tabela 15 e da Figura 5 pode se observar que 82,16% da área total do distrito, equivalente a 4615,98 km², está localizada em regiões de baixa declividade, variando de 0 a 5°. As áreas com declividade moderada, entre 5° e 10°, ocupando 15,59% do território, correspondendo a 878,16 km². Por outro lado, as regiões com declividade superior a 10° representam uma área significativamente menor, sendo que áreas entre 10° e 20° compreendem 2,18% (122,51 km²), entre 20° e 30° apenas 0,07% (3,95 km²), e as áreas com declividade acima de 30° ocupam uma fração ínfima de 0,0012% (0.07 km²) da área total.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa, *et al.* (2017), no seu estudo sobre a relação entre declividade e erosão em áreas de cultivo no estado de Minas Gerais, onde observou-se uma predominância de áreas com declividade baixa: 78% da área para a classe de 0 - 5°; 16% para 5 - 10°; 4% para 10 - 20°; 1% para 20 - 30°; e 0,5% para > 30°. Essa semelhança reflete uma característica comum de terrenos predominantemente planos, que a maior parte da área estudada estava em classes de baixa inclinação (0 - 5° e 5 - 10°), com pequenas proporções em declividades mais altas.

Por outro lado resultados contrários foram obtidos por Nhantumbo & Matusse, (2020), estudando a erosão do solo e relação com declividade na Província de Tete, Moçambique, onde observou-se que 55% da área estava na classe de 0 - 5° de declividade; 30% na classe de 5 - 10°; 10% na classe de 10 - 20°; 4% na classe de 20 - 30°; e 1% na classe de > 30°. As diferenças podem ser atribuídas às variações nas características topográficas das regiões, pois a província de Tete tende

a ter mais áreas com declividade moderada (5-10°) e menos áreas com declividade muito baixa (0-5°) em comparação com a Província de Gaza.

De acordo com Morgan (2005), terrenos com maior inclinação são mais vulneráveis à erosão devido ao aumento do escoamento superficial, que reduz a infiltração de água no solo. Esse processo facilita a erosão ao carregar partículas de solo e compromete a recarga de lençóis freáticos e a humidade do solo, impactando negativamente a vegetação nativa e a agricultura. Portanto, as áreas com inclinação superior a 10° totalizando aproximadamente 2,25% da área do distrito, devem ser prioritárias para intervenções de conservação visando mitigar a erosão e promover a sustentabilidade ambiental.

4.4 NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do distrito de Massingir

A Figura 6 apresenta o mapa temático do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o limite distrital de Massingir, onde são destacados os níveis de vigor da vegetação no do distrito, com as cores variando do vermelho, representando áreas com vegetação muito esparsa ou solo exposto ao verde escuro que indica regiões com vegetação mais densa e saudável.

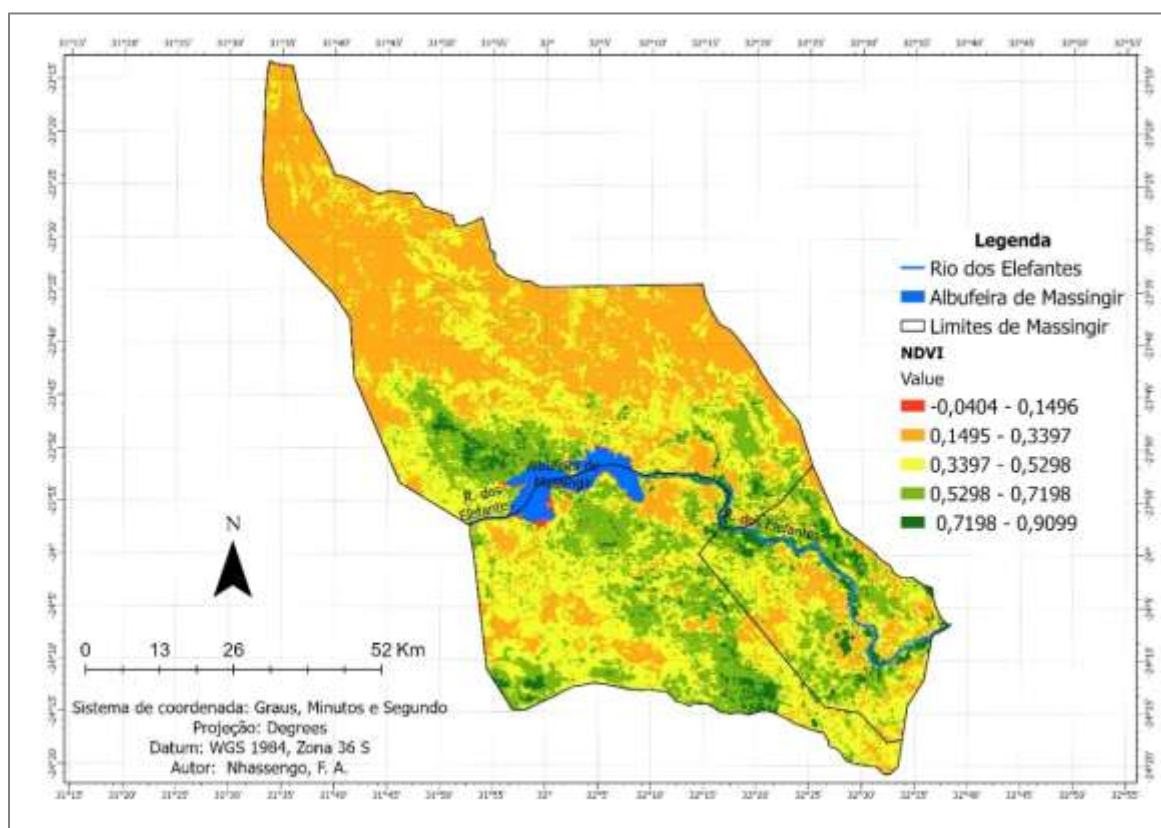


Figura 6. Mapa temático do NDVI do limite distrital de Massingir

A Tabela 16 apresenta a classificação das áreas com base no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), categorizadas em diferentes classes, e as suas respectivas áreas em valores absolutos e percentuais.

Tabela 16. Classes de NDVI e as suas respectivas áreas

Classe	Classificação	Área km ²	Área (%)
-0,0404 - 0,1496	Áreas sem vegetação, corpos de água e áreas habitacionais	116.56	2.06
0,1495 - 0,3397	Vegetação esparsa, seca ou em recuperação	4897.27	86,34
0,3397 - 0,5298	Vegetação moderadamente densa	641.24	11.39
0,5298- 0,7198	Densa e vigorosa	9.02	0.16
0,7198 - 0,9099	Extremamente densa e vigorosa	2.25	0.04
Total		5,632.47	100

De acordo com a Tabela 16 e a Figura 6, nota-se que 86,34% da área do distrito de Massingir apresenta um NDVI entre 0,1495 e 0,33397, que segundo a escala desenvolvida por Rouse *et al.* (1973), sugere uma vegetação aberta ou em recuperação e são fundamentais para a restauração, pois podem servir como corredores ecológicos e amortecer o impacto das atividades humanas. 11,39% da área está na faixa de 0,3397 a 0,5298, indicando uma vegetação mais densa, enquanto que as classes superiores, que representam vegetação vigorosa, abrangem apenas 0,2% da área. Por outro lado, a classe mais baixa, entre -0,0404 e 0,1498, cobre 2,06% da área, mostrando áreas com pouca ou nenhuma vegetação, como corpos de água, solo exposto e áreas habitacionais.

Chazdon (2014), sustenta que áreas com baixa cobertura vegetal são ideais para esforços de restauração, pelo facto de apresentarem um potencial significativo para a recuperação da vegetação nativa.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mavehe (2018) em seu estudo sobre o uso de geotecnologias na determinação de áreas prioritárias para o restabelecimento da cobertura florestal no rio Licungo, em Mocuba. Nesse estudo, os valores de NDVI de 0,5378, 0,8151, 0,2605, -0,0167 e -0,5714 corresponderam a vegetação moderadamente densa, vegetação moderadamente alta, vegetação baixa, solo exposto e afloramentos rochosos, respectivamente. Essa semelhança de resultados pode estar relacionada com as épocas e as metodologias empregadas para a análise do NDVI, dado que as condições ambientais, topográficas e climáticas das áreas estudadas são pouco diferentes. Portanto, a época de aquisição dos dados influencia directamente os valores de NDVI, pois reflete variações sazonais no vigor e na densidade da vegetação, pois se os dados forem coletados em épocas com características vegetativas similares, os valores e os resultados tendem a ser mais próximos.

4.5 Precipitação Média Anual

O mapa temático apresentado na Figura 7 mostra a distribuição de precipitação em milímetros no limite distrital de Massingir, onde as faixas de precipitação estão divididas em três intervalos representados em diferentes tons da cor azul.

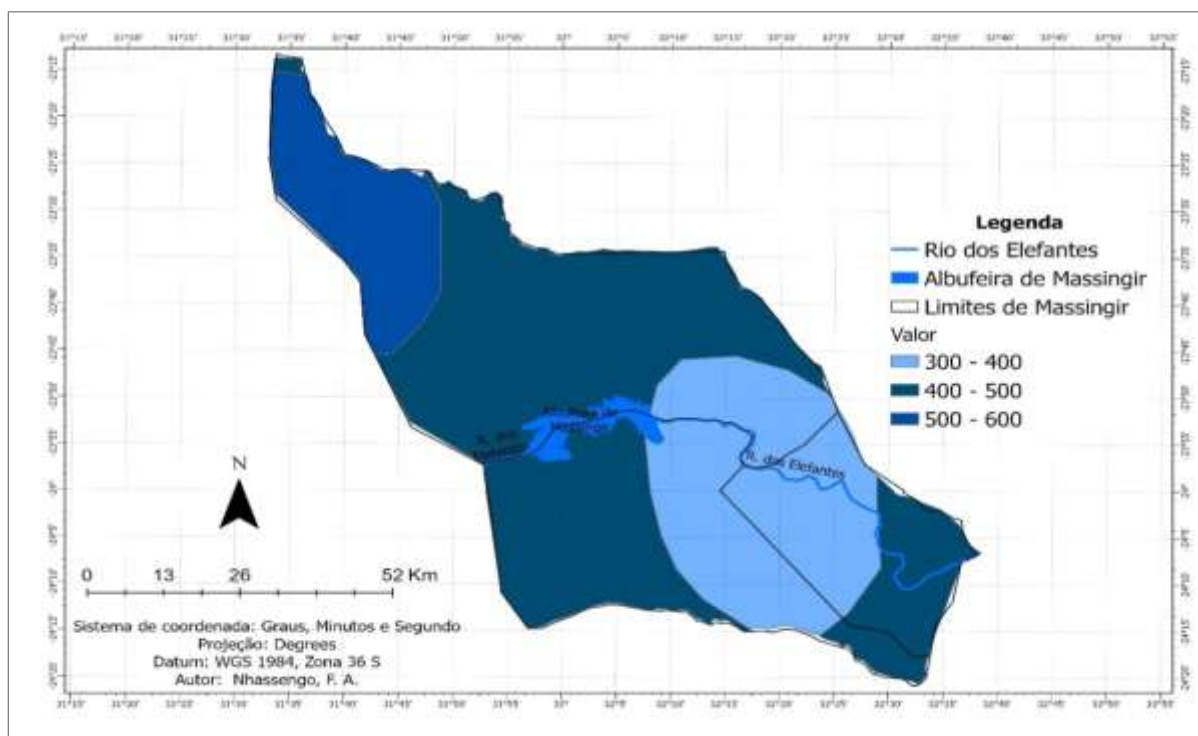


Figura 7. Mapa temático da Precipitação média anual do limite distrital de Massingir

De acordo com o mapa da Figura 7, observa-se que a área que apresenta níveis entre 300 e 400 mm de precipitação, ocupa uma porção intermediária do distrito, especialmente no leste e no centro do distrito, abrangendo uma parte do posto administrativo de Zulo e Massingir-Sede. A faixa de 400 a 500 mm, ocupa a maior parte do distrito, abrange uma parte do posto administrativo de Mavodze e também do posto administrativo de Zulo. Enquanto as regiões com níveis de precipitação entre 500 e 600 mm, estão concentradas em uma área menor, localizada ao norte do distrito.

Nobre e Melo (2001), defendem que a variabilidade interanual acentuada da pluviometria, aliada aos baixos totais anuais de precipitação na região semiárida, é um factor determinante para a ocorrência de eventos de seca, os quais são caracterizados por uma significativa redução no total de precipitação sazonal durante o período chuvoso.

4.6 Aplicação do método AHP na tomada de decisão sobre as áreas prioritárias e verificação da sua consistência

4.6.1 Matriz de comparação pareada

A tabela 17 apresenta a matriz de comparação pareada elaborada de acordo com a escala fundamental de Saaty (1980).

Tabela 17. Matriz de comparação pareada

Crítérios	NDVI	Declividade	Precipitação	UCT
NDVI	1	0.5	0.5	0.5
Declividade	2	1	0.6	1
Precipitação	2	1.5	1	1.5
UCT	2	1	0.67	1
Soma	7	4	2.77	4

Fonte Autor

Segundo os resultados apresentados na Tabela 17, observa-se que o critério Declividade é ligeiramente mais importante que o NDVI e a Precipitação, apresentando igual importância em relação ao UCT. A Precipitação, por sua vez, é considerada ligeiramente mais importante que o NDVI e ligeiramente mais importante que a Declividade e o UCT. O critério UCT é ligeiramente mais importante que o NDVI, possui a mesma importância que a Declividade, mas é menos importante que a Precipitação. Por fim, o NDVI é o critério de menor importância quando comparado aos demais. As comparações seguem a lógica de julgamentos recíprocos, em que a importância de um critério em relação ao outro reflete um valor inverso na comparação.

4.6.2 Matriz de comparação pareada normalizada

A Tabela 18 apresenta a matriz de comparação pareada normalizada para cada critério: NDVI, declividade, precipitação e uso e cobertura da terra (UCT).

Tabela 18. Matriz de comparação pareada normalizada

Critérios	NDVI	Declividade	Precipitação	UCT
NDVI	0.14	0.13	0.18	0.13
Declividade	0.29	0.25	0.22	0.25
Precipitação	0.29	0.38	0.36	0.38
UCT	0.29	0.25	0.24	0.25
Total	1	1	1	1

Fonte Autor

A matriz apresenta o valor 1 como somatório para cada coluna, indicando a normalização correcta dos pesos atribuídos a cada critério. O facto de a Precipitação apresentar o maior peso, seguida pela Declividade e UCT, demonstra que factores ambientais relacionados à sustentabilidade a longo prazo da vegetação foram priorizados. O NDVI recebeu menor importância, pois reflecte o estado actual da vegetação, que pode ser considerado menos crítico no contexto de um plano de recuperação florestal. Essa distribuição de pesos reflecte uma abordagem ponderada, onde o fornecimento de água e as condições topográficas têm um papel crucial na decisão final, garantindo que áreas com maior necessidade ou potencial de recuperação sejam priorizadas no planeamento.

4.6.3 Pesos dos criterios

A Tabela 19 apresenta os pesos atribuídos a cada critério para a determinação das prioritárias para o reestabelecimento da cobertura florestal.

Tabela 19. Pesos dos criterios

Crítério	Peso
NDVI	0.14
Declividade	0.26
Precipitação	0.35
UCT	0.26

Fonte Autor

Os critérios para a priorização do reestabelecimento da cobertura florestal foram atribuídos os seguintes pesos: NDVI (0.14), declividade (0.26), precipitação (0.35) e UCT (0.26). A precipitação recebeu o maior peso devido à sua importância crítica na regeneração da vegetação e sucesso das iniciativas de recuperação. A declividade também é significativa, pois afecta a erosão e a retenção de água. O UCT é de igual forma relevante para identificar áreas alteradas por atividades humanas, e o NDVI, embora importante para avaliar a saúde da vegetação, tem um peso menor em comparação aos outros critérios devido aos valores gerados na matriz de comparação pareada apresentada na Tabela 18.

4.6.4 Consistência da Matriz pareada

A Tabela 20 apresenta os valores determinados para se apurar a consistência dos valores julgados com o intuito de analisar se os pesos estimados para os critérios seleccionados.

Tabela 20. Consistência da Matriz

Consistência da Matriz	
Maior Autovector ($\lambda_{\max}$)	0.000244
Índice de consistência (IC)	0.000081
Índice randômico (IR)	0.9
A razão de consistência (RC)	0.00009

Fonte: Autor

Com uma Razão de Consistência (RC) de 0,00009, a matriz de comparação é altamente consistente, pois esse valor encontra-se dentro do limite aceitável de 10%. Segundo Saaty (1987), uma RC inferior a 10% indica que as comparações são coerentes, permitindo o uso confiável do método AHP.

4.7 Áreas sensíveis à degradação no limite distrital de Massingir

O mapa ilustrativo das áreas sensíveis à degradação, foi produzido com base no somatório dos mapas reclassificados de Uso e cobertura de terra, Precipitação, NDVI e Declividade.

Para uma apresentação perceptível dos resultados encontrados, foram estimadas as áreas e as respectivas percentagens de cada nível de prioridade de reestabelecimento da cobertura florestal.

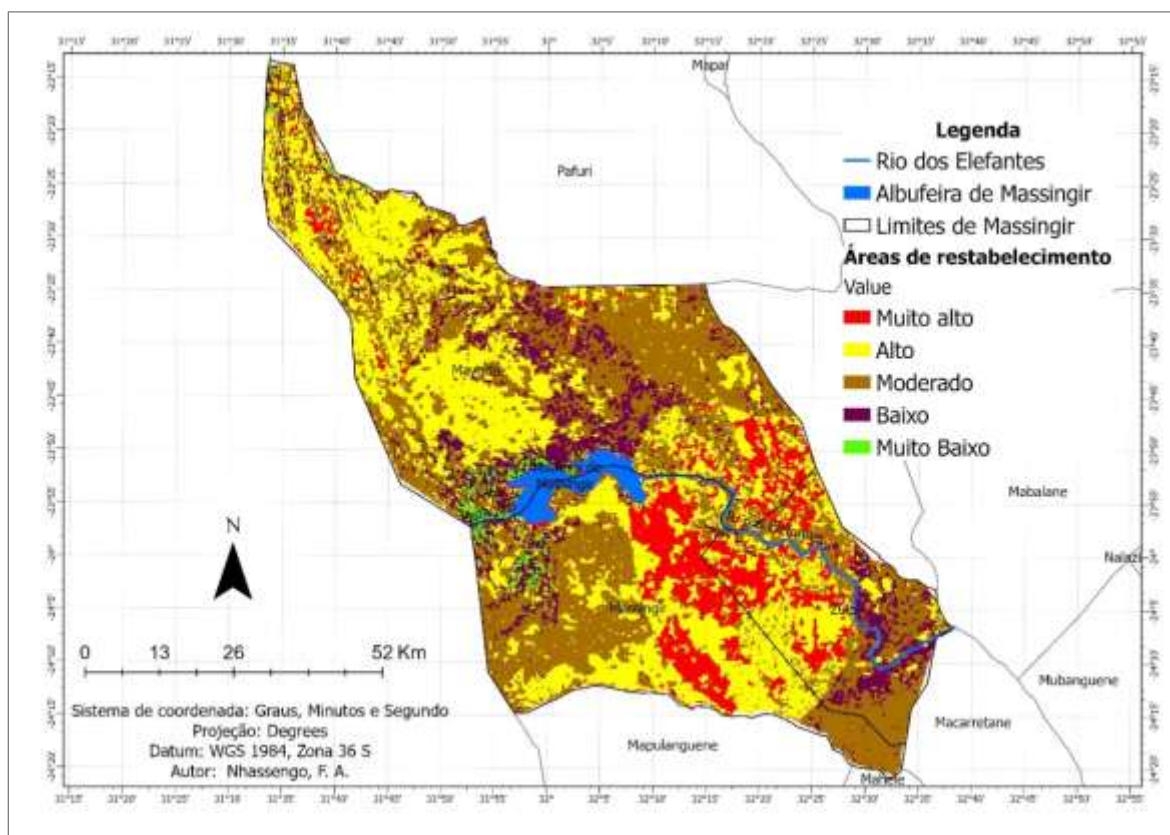


Figura 8. Mapa temático das áreas sensíveis à degradação do limite distrital de Massingir

A partir da análise do mapa final da Figura 8, pode-se tomar medidas relacionadas com estratégias de reestabelecimento da cobertura florestal e orientar as autoridades ambientais a prestar atenção nas áreas consideradas de nível de prioridade muito alta e de recuperação total.

A partir da análise do mapa final da figura observa-se que as **áreas de alta prioridade**, estão maioritariamente localizadas próximo ao leito do rio dos Elefantes, área que é considerada de preservação permanente. Estas áreas estão representadas pela cor amarela e pela cor vermelha, respectivamente. A precipitação está na faixa de 300-400 mm. A declividade é predominante ondulada e suave, variando de 0-10°, excepto nas margens mais próximas do rio dos elefantes onde se encontra na faixa de mais crítica, de 10- 30°. O NDVI varia de 0.1495 a 0.9099, indicando manchas de vegetação aberta, em recuperação e vegetação um pouco densa, até

pequenas manchas de vegetação vigorosa. Quanto ao uso e cobertura de terra, predomina áreas de solo exposto e habitações, vegetação de Pradaria e Savana.

As áreas com uma **prioridade baixa** de estão representadas pela cor verde. Essas áreas estão maioritariamente localizadas próximo a albufeira de Massingir e no posto administrativo de Mavodze, onde a precipitação varia de 400 a 600 mm. A declividade nessas áreas está no intervalo de 10- 30°. O NDVI varia de 0.1495 a 0.7198, indicando vegetação aberta e vegetação mais vigorosa principalmente. Quanto ao uso e cobertura de terra, predomina a vegetação de Pradaria e Savana.

Na Tabela 21 está apresentada uma análise detalhada das áreas prioritárias para o restabelecimento da cobertura florestal dentro dos limites distritais de Massingir, onde encontram-se categorizadas em diferentes classes, e as suas respectivas áreas em valores absolutos e em percentagens.

Tabela 21. Classes das áreas sensíveis à degradação no limite distrital de Massingir

Classes	Área km2	Área (%)
Muito alto	739.69	13.14
Alto	1,980.63	35.2
Moderado	2,093.90	37.13
Baixo	721.57	12.81
Muito Baixo	96.90	1.72
Total	5,632,47	100

Fonte Autor

De acordo com a Tabela 21, a classe que representa um nível de prioridade muito baixo para o restabelecimento da cobertura florestal é que abrange menor área ao nível do distrito, com cerca de 1.72% do total da área, e a classe que representa um nível de prioridade alto ao restabelecimento da cobertura florestal é que abrange maior área ao nível do distrito, com cerca de 37.13% do total da área.

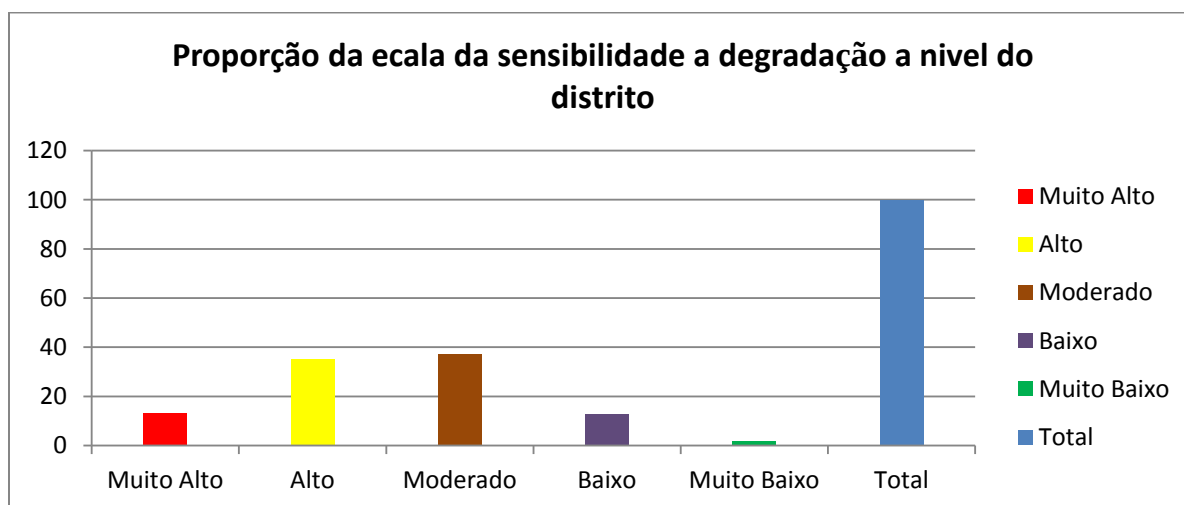


Gráfico 1. Proporção da escala de sensibilidade à degradação

Fonte Autor

O Gráfico 1 mostra que aproximadamente 48% da área do distrito de Massingir é classificada como sendo altamente prioritária para o reestabelecimento da cobertura florestal. O distrito apresenta cerca 14% da área com uma baixa prioridade para o reestabelecimento da cobertura florestal. E 37% da área com uma prioridade moderada para o reestabelecimento da cobertura florestal.

Estes resultados são diferentes aos encontrados por Cavalcante *et al.* (2020) no seu estudo sobre a Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu, onde obteve aproximadamente 90.9% do território altamente prioritário para o reestabelecimento da cobertura florestal, e com cerca de 3.10% do território com uma baixa prioridade para o reestabelecimento da cobertura florestal, e por fim 6.01% da área com uma prioridade moderada para o reestabelecimento da cobertura florestal.

Áreas prioritárias para o reestabelecimento da cobertura florestal na Área de Protecção permanente

O mapa da Figura 9 junto com a Tabela 22, representam as áreas sensíveis a degradação na área de preservação permanente (APP) em torno do Rio dos Elefantes e na Albufeira de Massingir. As classes são categorizadas em cinco níveis: Muito alto, Alto, Moderado, Baixo e Muito baixo, com base na sua sensibilidade, representados pelas cores vermelho, amarelo, castanho, violeta e verde, respectivamente.

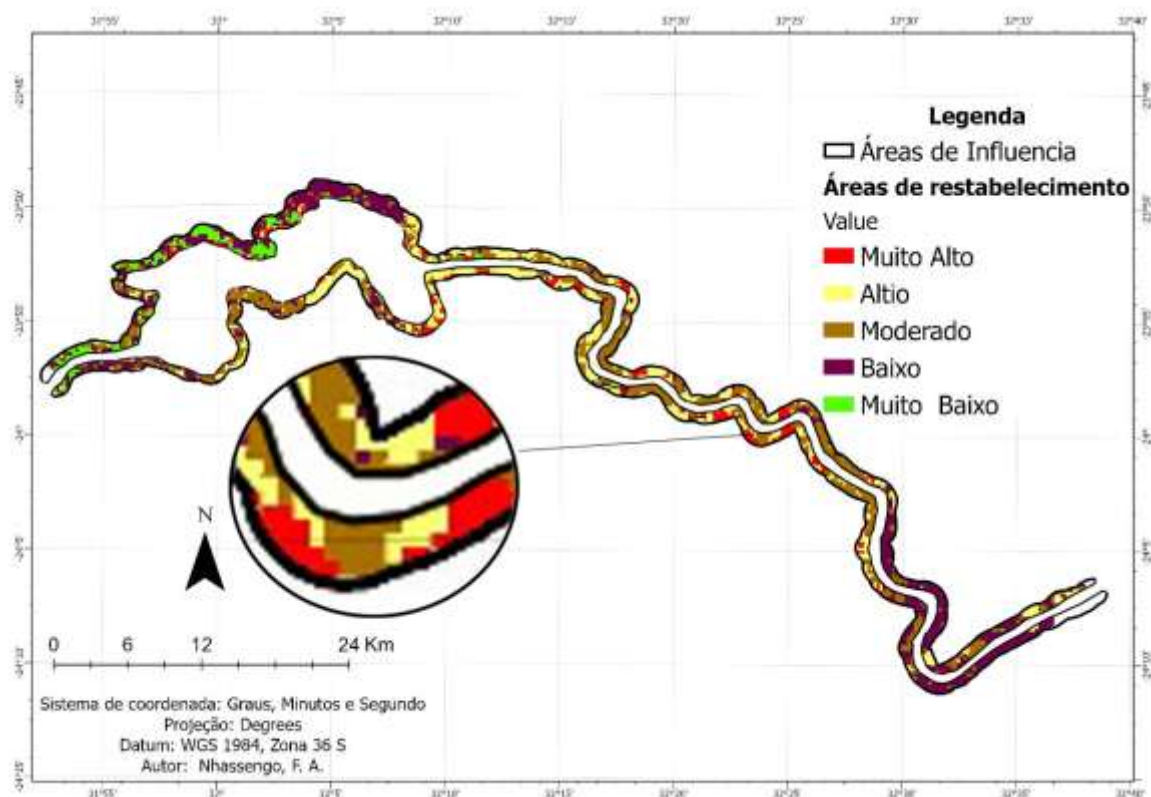


Figura 9. Mapa de Áreas áreas sensíveis a degradação na Área de Preservação permanente em torno do rio dos elefantes e na albufeira de Massingir

Fonte Autor

A área total ocupada pela área de preservação permanente é de 131,8 km², e a distribuição das áreas, em termos absolutos e percentuais, conforme a Tabela 22:

Tabela 22. Classes das áreas sensíveis à degradação na Área de Preservação permanente em torno do rio dos elefantes e na albufeira de Massingir

Classes	Área km2	Área (%)
Muito Alto	5.82	4.42
Alto	24.89	18.88
Moderado	52.35	39.72
Baixo	37.61	28.54

Muito Baixo	11.82	8.97
Total	131.8	100

Fonte: Autor

A classe muito alta abrange 5,82 km², representando 4,42% da área total, indicando as regiões de maior sensibilidade para degradação. A classe alta cobre 24,89 km², o que corresponde a 18,88% da área total, sendo também uma área de alta prioridade para a intervenção. A classe moderada representa a maior extensão, com cerca de 52,35 km², que corresponde a 39,72% do total da APP. A classe baixa ocupa 37,61 km², correspondendo a 28,54% da área total, indicando uma sensibilidade menor em relação às classes anteriores. Finalmente, a classe Muito Baixo engloba 11,82 km², ou 8,97% da área total, sendo as áreas de menor sensibilidade a degradação.

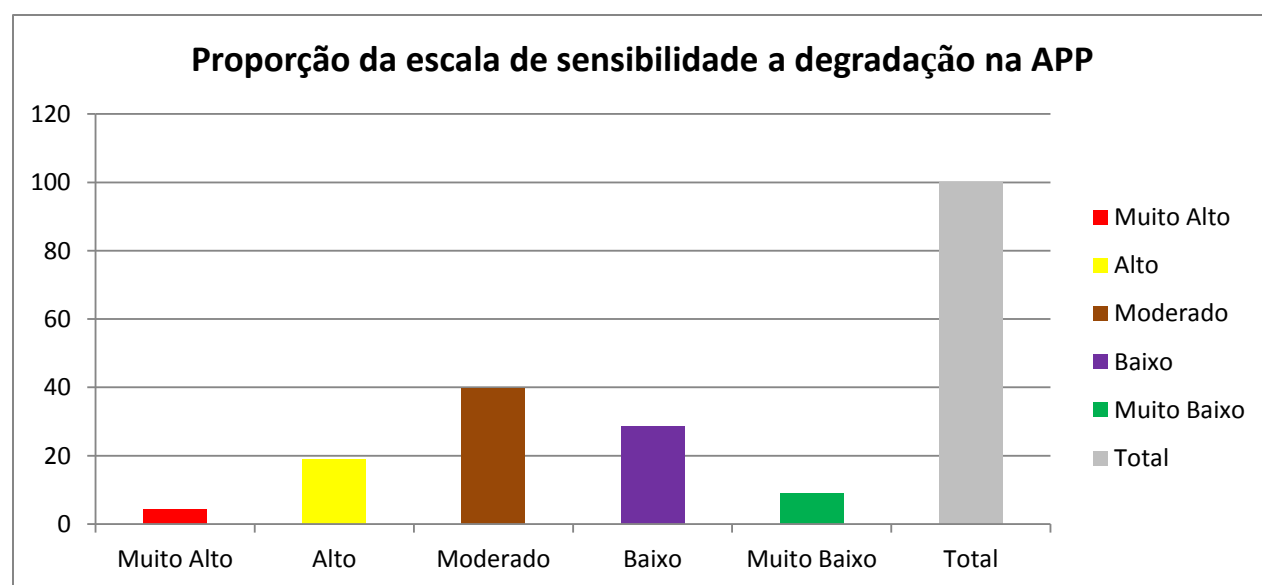


Gráfico 2. Proporção da escala de sensibilidade a degradação na APP

O Gráfico 2 mostra que aproximadamente 23.3% da área da APP é classificada como sendo altamente sensível a degradação. A APP apresenta cerca 37.51% da área com uma baixa sensibilidade a degradação. E 52.35% da área com uma sensibilidade moderada a degradação.

Na APP, os resultados podem ser justificados pelo uso e cobertura de terra que é predominantemente Habitação/ Solo exposto e Pradaria/Agricultura, pois as APP's são preferidas pela população local para a prática de agricultura por serem férteis, o que as torna atractivas para

o cultivo. No entanto, essa prática resulta em impactos significativos, como a degradação do solo, a redução da biodiversidade e o comprometimento dos recursos hídricos, visto que essas áreas desempenham um papel crucial na manutenção dos ecossistemas e na proteção dos cursos da água.

Estes resultados difere-se dos encontrados por Madal, *et al.*(2023) quando estudava sobre mapeamento da Sensibilidade a degradação no Geopark Katla, onde obteve aproximadamente 9% da bacia, classificada como alta sensibilidade, e cerca de 27% da area classificada como sensibilidade moderada a degradação, e finalmente 63% do território classificada como de baixa sensibilidade a degradação.

Nos casos supracitados, a diferença dos resultados pode ser devida as formas diferentes do uso e cobertura de terra, hierarquização dos critérios seleccionados em cada estudo, e os critérios considerados, bem como as condições climáticas locais, assim como a metodologia aplicada, podem ter influenciado significativamente os resultados obtidos.

V CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, concluir que:

O distrito apresenta 10 classes de uso e cobertura de solo, onde a classe dos corpos de água ocupam uma extensão de 189.29 km², (3.35% da área total do distrito); As áreas de habitação e solo exposto correspondem cerca de 1.259,84 km², (22.31% da área total do distrito) A pradaria e Agricultura abrangem 957.14 km² (17,04% do total) . O matagal e vegetação arbustiva ocupam uma área de cerca de 1,469.19 km² (26.08% da área total do distrito). Por fim, a vegetação de Mopane ocupa 1,761.19 km² (31.22% da área analisada do distrito); Também pode se observar que 82,16% da área total do distrito, equivalente a 4615,98 km², está localizada em regiões de baixa declividade, variando de 0 a 5°, enquanto que as regiões inclinadas representam uma área significativamente menor, compreendendo 2,18% (122,51 km²); 86,34% da área apresenta um NDVI entre 0,1495 e 0,3339, uma vegetação aberta ou em recuperação; 11,39% da área está na faixa de 0,3397 a 0,5298, indicando uma vegetação mais densa; 0,2% da área representam vegetação vigorosa; A classe mais baixa, entre -0,0404 e 0,1498, cobre 2,06% da área, mostrando áreas de corpos de água, solo exposto e áreas habitacionais; A área que apresenta níveis entre 300 e 400 mm de precipitação, ocupa uma porção intermediária do distrito, especialmente no leste e no centro do distrito, a faixa de 400 a 500 mm, ocupa a maior parte do distrito; enquanto as regiões com níveis de precipitação entre 500 e 600 mm, estão concentradas no norte do distrito.

A aplicação do método AHP permitiu identificar e priorizar (hierarquizar) as áreas para o reestabelecimento da cobertura florestal, resultando na criação de um mapa que evidencia as diferentes sensibilidades dentro do distrito e com destaque na APP em torno do Rio dos Elefantes.

Aproximadamente 23,3% da área APP é altamente sensível para o reestabelecimento da cobertura florestal, indicando a necessidade urgente de intervenção nessas áreas. Por outro lado, 37,51% da área é de baixa prioridade, enquanto 52,35% da área foi classificada com sensibilidade moderada, o que sugere uma abordagem de restauração mais gradual e direcionada conforme os recursos disponíveis.

VI RECOMENDAÇÕES

O trabalho tem como as seguintes recomendações:

- Explorar mais sobre a utilização de geotecnologias e análises multicritério para a análise e tomada de decisão em projectos de reestabelecimento de cobertura florestal, assim como a integração de dados actualizados sobre o uso da terra juntamente com outros factores de tomada de decisão.
- Incentivar a sensibilização da participação das comunidades locais na implementação das estratégias de restauração e promover a educação ambiental. A conscientização e o envolvimento das partes interessadas podem aumentar o sucesso das iniciativas de recuperação e garantir a sustentabilidade dos esforços a longo prazo.
- Integrar aspectos socioeconômicos na formulação das estratégias de restauração para garantir que as ações propostas sejam viáveis e benéficas tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades locais.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

DAGUIAR, F., ESPÍRITO-SANTO, M., & FERREIRA, M. (2019). *Comunidades de plantas aquáticas e florestas ribeirinhas em Portugal: Valores, padrões de alteração e perspectivas de conservação e gestão*.

ALLEN, M. R. (2002). Quantifying anthropogenic influence on recent near-surface temperature change. *Nature*, 421, 227-230.

ALMEIDA, R. E., & SANCHEZ, E. (2005). Revegetação de áreas de mineração: Critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*, 29(1), 47-54.

ALMEIDA, F. S. (2018). Aplicações do sensoriamento remoto na restauração florestal na África Subsaariana. *Revista Africana de Sensoriamento Remoto*, 18, 78-92.

ALVARENGA, A. S., & MORAES, M. F. (2014). Processamento digital de imagens LANDSAT-8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(4), 888-901.

ARAÚJO, G. M. (2009). Matas ciliares da caatinga: Florística, processo de germinação e sua importância na restauração de áreas degradadas. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

BARROS, A. C., & MELLO, J. M. (2002). A influência das geotecnologias no mapeamento de áreas de preservação permanente. *Revista Árvore*, 26(5), 603-611.

BARROS, A. S., FARIAS, L. M., & MARINHO, J. L. A. (2020). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na caracterização da cobertura vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(6), 2885-2895. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

BAGHERZADEH, A., MANSOURI DANESHVAR, M. R., & GHADIMI, H. (2020). Assessment of vegetation cover changes in response to climate variability using NDVI and climate data: A case study of semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 110, 105938. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105938>

BORATTO, M. DE P., & GOMIDE, L. (2013). Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 4254-4261). Foz do Iguaçu, PR, Brasil: INPE.

BRITO, R., ET AL. (2009). *Profile of the Limpopo Basin in Mozambique*. Water Net Working.

CAMPOS, M., & CAMPOS, S. (2020). Geotecnologias aplicada nos conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente no município de Barra Bonita/SP. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 8(1), 45-57.

CAMPOS, M. (2011). Métodos multicritérios que envolvem a tomada de decisão (Monografia de Especialização em Matemática). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CATELANE, C. D., ET AL. (2007). *Determinação de áreas prioritárias para o restabelecimento da cobertura florestal apoiada no uso de geotecnologias*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

CAVALCANTE, C. J. Et al (2020). *Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu – PA*. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.01 (2020) 167-181.

CHAVEZ, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459-479.

Costa, M. A., Oliveira, P. T. S., & Farias, J. C. (2017). Distribuição da declividade e erosão em áreas de cultivo no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41(1), e0160014. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160014>

COSTA, P., LIMA, J. A., & SILVA, A. R. (2005). A água e as florestas ribeirinhas. *Documentos Embrapa Roraima*, 6, 17.

COSTA, J. R., & COSTA, G. (2016). Impacto da ação antrópica na degradação da mata ciliar do trecho perenizado do Rio Trussu, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 3(2), 189-197. <https://doi.org/10.5935/2177-5065.20160029>

DA SILVA, G. C. (2018). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 14(25), 1382-1390.

DIOGO, C. J. C. (2020). Sensoriamento remoto na conservação de recursos naturais na África. *Journal of Remote Sensing*, 45-58.

DNAC. (2012). *Análise da viabilidade de corredores ecológicos no PNL*. Parque Nacional do Limpopo.

DOS SANTOS, T. V. M. N. (2016). Mapeamento de áreas prioritárias para ações de conservação e recuperação ambiental na bacia do rio Descoberto, Brasília. Dezembro.

ENSSLIN, L. (2001). *Apoio à decisão: Metodologia para a estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis: Insular.

FRANCO, R. A. M., HERNANDEZ, F. B. T., & MORAES, J. F. L. (2013). O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias à restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3366-3373). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

FREITAS, A. R. (2020). Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná: Análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia do IDA. *Revista GEOgrafias*, 28, 115-130.

GOMES, L. F. A. M. (2007). *Teoria da decisão*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.

GOMES, J. J., ALMEIDA, S. L., & LOBO, F. S. (2011). Integração de métodos multicritério na busca da sustentabilidade agrícola para a produção de tomates no município de São José de Ubá - RJ. *Pesquisa Operacional*, 31(1), 157-171. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382011000100009>

GUNDERSEN, P., ALBRECHTSEN, H. J., EILERTSEN, H. S., & DINGSOR, A. (2010). Environmental services provided from riparian forests in the Nordic countries. *A Journal of the Human Environment*, 39(8), 555-566.

JENSEN, J. R. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: [s.n.].

KAFUMBATA, D., JAMU, D., & CHIOTHA, S. (2015). Riparian ecosystem resilience and livelihood strategies under test: Lessons from Lake Chilwa Basin, Malawi. *Science of The Total Environment*, 540, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.137>

KALABA, F. K., QUINN, C. H., & DOUGILL, A. J. (2019). Policy coherence and interplay between Zambia's forest, wildlife, and climate policies and multilateral environmental agreements. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 19(1), 55-69. <https://doi.org/10.1007/s10784-018-9416-0>

LACERDA, A. V., BARBOSA, F. M., & VASCONCELLOS BARBOSA, M. R. (2007). Estudo do componente arbustivo-arbóreo de matas ciliares na Bacia do Rio Taperoá, semiárido paraibano: Uma perspectiva para a sustentabilidade dos recursos naturais. *Oecologia Brasiliensis*, 11(1), 95-106.

LEMO FILHO, L. C. A., et al. (2017). Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. *Revista Agro@mbiente*, 11(1), 11-20.

LOPES, L. S., BASTOS, P. M. R., & REIS, B. D. (2012). Estudo da viabilidade econômico-social de um projeto de reflorestamento da área de preservação permanente (APP) de Cataguarino1. *Revista de Política Agrícola*, 21(2), 55-72.

MACHADO, A. P. A. (2018). *Uso de imagens de satélite SENTINEL-2 para delimitação de APP's: Estudo de caso município de Feliz-RS* (Relatório).

MARTINS, A. C. (2012). Geotecnologias como auxílio para a sustentabilidade rural–Povoado de São José de Braçanã – Rio Bonito, RJ. *Revista Brasileira de Geotecnologias*, 2(3), 45-58.

MAZUZE, C. S. (2016). *Análise Da Dinâmica Espacial Do Uso E Cobertura De Solo No Distrito De Chókwè Nos Anos De 2000 E 2010. Monografia apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Agrícola ISPG*

MILARE, E. (2001). *Direito do ambiente: Doutrina, prática, jurisprudência, glossário*. São Paulo: [s.n.].

MORGAN, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3ª ed.). Blackwell Publishing.

NASA. (2000). *Landsat 7 science data users handbook*.

NASA. (2015). *Landsat 8 (L8) data users handbook*.

NEIVA, S. DE A. (2009). *Áreas de preservação permanente no Brasil: A percepção de especialistas* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.

NHANENGE E. C. (2024). *Modelação da Susceptibilidade à Inundações Baseada Em Análise Multicritério Em Sistemas de Informação Geográfica Caso de estudo: Distrito de Boane .Trabalho de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica*

NHANTUMBO, I., & MATUSSE, A. (2020). Erosão do solo e relação com declividade em áreas de cultivo na Província de Tete. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 273-284.

NOBRE, P., & MELO, A. B. C. (2001). Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. *Revista Climanalise*, 7(1), 5-20.

NOVO, E. M. L. DE M. (2008). *Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações* (3ª ed.). São Paulo: Blucher.

OLAYA, V. (2012). *Sistemas de informação geográfica* (Tomo 1). Vol. 1.

PANGUANA, I. J. (2015). Proposta de atualização do Mapa de Uso e Cobertura da Terra (1996 a 2014) do distrito de Ka-Nhaca usando imagem de satélite. *Revista de Geotecnologias*, 24(2), 123-135.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. (2007). «Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification» (PDF). *Hydrology and Earth System Sciences*. 4 (2): 439–473. doi:10.5194/hessd-4-439-2007.

RIBEIRO, M. C., & MARTENSEN, A. C. (2005). Aplicação das geotecnologias no planejamento e gestão de áreas protegidas. *Natureza & Conservação*, 3(1), 43-56.

PORFIRIO, G. R. (2023). Avaliação da altitude e da declividade em diferentes modelos digitais de elevação – Itaquí (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RAUEN, V. A. B. (2010). Uso de SIG na delimitação de áreas de preservação permanente e no mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Piraí – SP (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina.

RETCHLESS, T. P. (2005). *Ranking U.S. army generals of the twentieth century using the group analytic hierarchy process* (Tese de doutorado, University of Maryland, Baltimore).

ROCHA, R. T. (2011). Áreas de preservação permanente de topo de morro. *Instituto Estadual do Ambiente (INEA)*.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., & DEERING, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium* (pp. 309-317). NASA SP-351.

SAATY, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill.

SAATY, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.

SAATY, T. L. (2013). On the measurement of intangibles: A principal eigenvector approach to relative measurement derived from paired comparisons. *Notices of the American Mathematical Society*, 60(2), 192-208.

SANTIAGO, M. M., DA SILVA, H. A., GALVINCIO, J. D., & DE OLIVEIRA, T. H. (2009). Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3003-3009). Natal, Brasil: INPE.

SANTOS, A. M. (2020). O uso de drones e imagens de alta resolução na monitorização da restauração florestal. *Revista de Geotecnologias*, 25(3), 78-92.

SARAIVA, D. D. (2011). Composição e estrutura de uma floresta ribeirinha no sul do Brasil. *Biotemas*, 24(2), 67-77.

SANTOS, A. S. R. M. DOS, MAURO, T. L., SOUZA, L. A. DE, SENIGALIA, R. L. C., CASTRO, D. A., & SANTOS, E. S. DOS. (2019). Métodos de classificação supervisionada aplicados no uso e ocupação do solo no município de Presidente Médice – RO. *Biodiversidade*, 18(1), 150-160.

SILVA, D. C. C., et al. (2018). Proposta metodológica para definição de áreas prioritárias para recuperação vegetal de áreas de preservação permanente. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(3), 45-58.

SILVA, M. V. R., et al. (2015). Aplicação do índice de vegetação ajustado ao solo-SAVI para a identificação de fragmentos de caatinga em cultivos de *Agave sisalana* Perrine na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(2), 345-359.

SILVEIRA, et al. (2006). Mapeamento de declividade de vertentes: Aplicação na APA de Guaratuba / Paraná. *Revista Brasileira de Geografia*, 22(1), 123-135.

SKORUPA, L. A. (2003). Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável. *Departamento de Meio Ambiente da EMBRAPA*.

SOARES, M. G. (2017). Relação entre as mudanças de uso e cobertura de terra e as queimadas em florestas de miombo, Gurué, Moçambique (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal/UEM.

SOARES, R. B., et al. (2015). Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/OLI. In *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3043-3052). João Pessoa-PB, Brasil: INPE.

SOUZA, P. R. (2018). O papel das geotecnologias na identificação de áreas prioritárias para a restauração florestal. *Revista Brasileira de Geoinformação*, 14(2), 45-58.

SOUSA, W. B. de. (2018). Estimadores de máxima verossimilhança: Casos que não satisfazem as condições de regularidade (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de Brasília.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable land-use strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5997-6002. (1999).

TRAORÉ, M. K. (2019). Geoprocessamento participativo para identificação de áreas prioritárias para restauração florestal na África. *Geoinformatics for Sustainable Development Journal*, 112-125.

TNC. (2015). *Manual de Restauração Florestal de Áreas de Preservação Permanente*, Alto Teles Pires, MT.

VENZK, T. (2019). Estudo das matas ciliares da bacia hidrográfica do Pelotas, Pelotas, RS, Brasil. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 23(1), 45-59.

VIEIRA, B. F., COSTA, J. DE J., & ALMEIDA, A. Q. (2023). Análise temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Serra da Caboronga, em Ipirá-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(6), 3593-3606. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

VIRTUOSO, A. M., & REIS, C. H. (2017). Mapeamento da cobertura e uso da terra nas áreas de preservação permanente do rio Muriaé no município de Campos dos Goytacazes – RJ. *Revista Brasileira de Geotecnologias*, 23(4), 67-82.

WALLENIUS, J. (2008). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*, 54(7), 1336-1349.4o

WANGAI, P. W., BURKHARD, B., & MÜLLER, F. (2019). A review of studies on ecosystem services in Africa. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 15(1), 70-78. <https://doi.org/10.1080/21513732.2019.1595705>

ZAHAWI, R., HOLL, K., & COLE, R. (2021). Forest restoration: What practitioners should know about slope and topography. *Journal of Applied Ecology*, 58(1), 64-76. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13726>

VIII ANEXOS

As imagens abaixo ilustram as fotografias feitas na area de estudo, para fins de verificacao da veracidade das imagens de satelite usadas no trabalho.



Imagens: A) Leito do rio dos elefantes. B) Floresta do tipo matagal.



Imagens: C) Localização de alguns pontos com o GPS. B) Solo exposto.