



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográficas

**Identificação de áreas susceptíveis a Inundação baseado
em uma Análise Multicriterio com Recurso a Sistema de
Informação Geográfica**

Caso de Estudo: Distrito de Marracuene

Autor: Adozinda Boaventura Mboa

Maputo, Maio de 2024



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Identificação de áreas susceptíveis a Inundação baseado em
uma Análise Multicriterio com Recurso a Sistema de
Informação Geográfica**

Caso de Estudo: Distrito de Marracuene

Autor: Adozinda Boaventura Mboa

Supervisor: Mestre. Egídio Cassamo, UEM

Maputo, Maio de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais (Boaventura Mboa, Julieta Uamba e Alzira Matimele) e ao meu irmão Daniel Mboa, por ter sido o primeiro da nossa família a ingressar no Ensino Superior e mostrarnos que é possível seguir pelo mesmo caminho.

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências de Informação Geográfica, na faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Maio de 2025

(Adozinda Boaventura Mboa)

Agradecimento

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por todas as bênçãos derramadas sobre a minha vida. Mesmo sem nada em troca, tem operado maravilhas no meu caminho.

À Universidade Eduardo Mondlane, pela oportunidade concedida para prosseguir os meus estudos e aprimorar os meus conhecimentos.

Ao meu orientador, Mestre Egídio Cassamo, o meu profundo agradecimento pela paciência, disponibilidade e prontidão em esclarecer dúvidas e orientar-me ao longo deste percurso.

Aos meus Docentes, agradeço pela sabedoria e conhecimento transmitidos desde 2021 até ao presente. Mais do que formação académica, contribuíram para o nosso crescimento como cidadãos capazes de transformar saber em soluções para os desafios do quotidiano.

À minha família, o meu reconhecimento pelo suporte constante, especialmente aos meus pais, verdadeiros heróis na minha vida. Aos meus irmãos, Boaventura, Daniel, Eduardo, Carla e Joana, agradeço por todo o amor, orientação e apoio incondicional. Mesmo perante as minhas falhas, sempre estiveram presentes para me lembrar que é possível cair e levantar. As minhas cunhadas, Nissia Massingue e Mariamo Simango, merecem também o meu apreço.

Ao meu companheiro, Teodoro José, pelo apoio contínuo, e à Mãe Percina Macarringue, por tudo o que fez e continua a fazer por mim.

Aos meus colegas da turma de 2021, o meu sincero obrigado. Um agradecimento especial às minhas colegas Marta Inácio, Imelda Cossa e Elisa Guirruogo, que se tornaram parte da minha família ao longo desta jornada.

A todos os que não foram mencionados, mas que, de alguma forma e em diversas circunstâncias, contribuíram para a minha formação e para a concretização deste trabalho, expresso o meu sincero agradecimento.

Resumo

O presente trabalho tem como objectivo identificar áreas susceptíveis a inundações no Distrito de Marracuene, localizado na Província de Maputo, por meio de uma análise multicritério utilizando Sistemas de Informação Geográfica. Para alcançar esse objectivo, foram considerados seis factores principais: declividade, hipsometria, precipitação, uso e cobertura do solo, proximidade aos rios e tipo de solo.

Cada um destes factores foi reclassificado e ponderado com base no método de Análise Hierárquica de Processos, permitindo a integração dos dados através de álgebra de mapas no ambiente QGIS 3.28.1. Os resultados obtidos revelaram que uma porção significativa do distrito apresenta níveis moderados, altos e muito altos de susceptibilidade a inundações, variando respectivamente entre 45,03%, 16,7% e 3,65%, com destaque para as áreas adjacentes aos cursos de água.

A aplicação da metodologia demonstrou ser eficaz no apoio ao planeamento territorial e à gestão de riscos ambientais, fornecendo subsídios relevantes para a tomada de decisão por parte das autoridades municipais.

Palavras-chave: Análise Hierárquica de Processos, Susceptibilidade, Análise Multicritério.

Abreviaturas

AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)

CIG - Ciências de Informação Geográfica

DMI - Departamento de Matemática e Informática

DNAL - Direção Nacional de Administração Local

EDM- Electricidade de Moçambique

EN1- Estrada nacional número 1

INE - Instituto Nacional de Estatística

IOF- Inquérito ao Orçamento Familiar

AIM - Agência de Informação de Moçambique

MAE - Ministério de Administração Estatal

MDE- Modelo Digital de Elevação

MOPHRH - Ministério Obras Pública, Habitação e Recursos Hídricos

OMR- Observatório do Meio Rural

RM - Rádio Moçambique

SI - Sistema de Informação

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimento.....	iii
Resumo.....	iv
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabela.....	x
1. Introdução	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do problema	1
1.3. Justificativa	2
1.4. Relevância.....	2
1.5. Objectivos	3
1.5.1. Objectivo geral	3
1.5.2. Objectivos específicos:	3
1.6. Localização da área de estudo	4
1.6.1. Relevo e Solos	6
1.6.2. Infra-estruturas e Serviços	6
2. Revisão de Literatura.....	8
2.1. Fenómenos Hidrológicos extremos	8
2.2. Inundações	9
2.2.1. Inundações Fluviais.....	10
2.2.2. Inundações Urbana.....	11
2.3. Inundações em Moçambique	12
2.3.1. Inundações no Distrito de Marracuene.....	12
2.4. Factores que contribuem para a Susceptibilidade a Inundações.....	13

2.4.1. Altitude.....	14
2.4.2. Geologia.....	14
2.4.3. Declividade.....	15
2.4.4. Precipitação.....	15
2.4.5. Solos.....	16
2.4.6. Cursos de água.....	17
2.4.7. Uso e ocupação da terra.....	18
2.5. Susceptibilidades	18
2.6. Geoprocessamento	19
2.6.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	19
2.6.2. Áreas de aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica.....	20
2.6.3. Aplicação dos SIG no monitoramento das Inundações.....	20
2.6.4. Fonte de dados.....	21
2.6.5. Reclassificação	21
2.7. Análise Multicritério para tomada de decisão	21
2.7.1. Análise Multicritério em ambiente SIG.....	22
2.7.2. O método AHP como instrumento de tomada de decisão multicritérios.....	22
3. Material e Métodos.....	28
3.1. Materiais	28
3.1.1. Equipamentos Computacionais usados.....	29
3.2. Processos metodológicos	29
3.2.1. Selecção e Avaliação dos factores.....	30
3.2.2. Pré-processamento dos dados.....	31
3.2.3. Reclassificação dos factores.....	31
3.2.4. Atribuição de pesos às variáveis com uso do método AHP.....	45
4. Resultados e Discussão.....	49
4.1. Mapa de Susceptibilidade às inundações.....	49
4.1.1. Validação dos resultados.....	51
5. Conclusões e Recomendações.....	54
5.1. Conclusão	54
5.2. Recomendações	55

6. Referências Bibliográficas.....	56
7. Anexos.....	63
Anexo 1: Ja presenciou Inundações.....	63
Anexo 2: Quais são os principais factores que causam inundações no Distrito de Marracuene	64
Anexo 3: Como as inundações afetam o seu bairro ou localidade.....	64
Anexo 4: Que ações poderiam ajudar a reduzir os impactos das inundações	64
Anexo 5: Que sugestões você daria para melhorar a prevenção e resposta às inundações	65
7.2 Calculador AHP.....	65
Anexo 6: Matriz de comparação pareada, razão de consistência	66
Anexo 7 :Gráfico com as percentagem dos factores	66
Anexo 8 : Simulação das cheias em Fevereiro de 2023.....	69

Lista de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo.....	5
Figura 2: Diferença entre Inundação e Enchente	10
Figura 3: Inundações em Moçambique	12
Figura 4: Inundações em Marracuene	13
Figura 5: Síntese sofisticado de equipamentos e programas de computador	20
Figura 6: Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada	25
Figura 7: Fluxograma metodológico	30
Figura 8: Mapa de precipitação	34
Figura 9: Mapa dos Cursos de água.....	36
Figura 10: Mapa de Declividade	38
Figura 11: Mapa Hipsométrico.....	40
Figura 12: Mapa de Uso e Cobertura do solo	42
Figura 13: Mapa dos Tipos de solo	44
Figura 14: Mapa de Susceptibilidade a inundações no Distrito de Marracuene	50
Figura 15: Mapa de validação dos resultados.....	52
Figura 21: Matriz de comparação pareada, razão de consistência	60
Figura 23: Simulação das cheias em Fevereiro de 2023	67

Lista de Tabela

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas	10
Tabela 2 : Intervalo e indicador da Altitude	14
Tabela 3: Intervalo e indicador da Declividade	15
Tabela 4: Intervalo e Intensidade da precipitação	16
Tabela 5: Tipos e Característica dos solos.....	17
Tabela 6: Distância e Indicador dos cursos de água.....	18
Tabela 7: Descrição das áreas de aplicação do SIG	20
Tabela 8: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o Processo decisório com AHP.....	23
Tabela 9: Valores de RI para matriz quadrada de ordem até 15.....	27
Tabela 10: Descrição dos dados	28
Tabela 11: Descrição dos programas utilizados	29
Tabela 12: Reclassificação dos factores	32
Tabela 13: Matriz de comparação par-a-par.....	46
Tabela 14: Matriz normalizada.....	46
Tabela 15: Pesos dos factores	47
Tabela 16: Tabela das áreas ocupada por cada classe de susceptibilidade às inundações no Distrito de Marracuene	51

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos que servem de base para a realização da pesquisa e os principais aspectos relacionados à susceptibilidade a inundações. O objetivo é fornecer um contexto para o problema que o estudo busca resolver, destacando a Contextualização, a definição do problema, a justificativa e a relevância da pesquisa.

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, o mundo e Moçambique em particular tem sido afectado por fenómenos hidrometeorológicos extremos, os quais provocam alterações no tecido urbano, ambientais, económicas e paisagísticas, bem como impactos negativos sobre os serviços, transportes e áreas habitacionais.

Estes fenómenos manifestam-se mesmo quando são de fraca magnitude, gerando perdas ambientais, humanas e económicas severas, especialmente em países em desenvolvimento (Veyret, 2007a; Veyret & Richemond, 2007b; Cruz, 2007).

Grande parte dos estudos sobre inundações foca-se na precipitação como factor principal. Contudo, tem-se vindo a ganhar consciência sobre a necessidade de mapeamento e prevenção, sobretudo na tomada de decisão por parte dos governos e sector privado.

O rápido crescimento populacional contribuiu para o uso desorganizado do espaço urbano, frequentemente sem planeamento adequado por parte das autoridades municipais (Silva, Santos & Galdino, 2016). Segundo o Censo de 2017, cerca de 33,4% da população moçambicana reside em zonas urbanas (INE, 2019).

1.2 Definição do problema

Segundo um estudo de June (2013), Moçambique apresenta fracos mecanismos de comunicação e disseminação de informação. Os planos de contingência para fenómenos hidrológicos extremos são geralmente elaborados com base em dados generalistas ao nível provincial e nacional, o que por vezes não reflecte a realidade dos distritos ou níveis inferiores.

O Distrito de Marracuene tem registado ocorrências frequentes de inundações, com impacto negativo na infraestrutura, economia local e qualidade de vida da população. A inexistência de um

mapeamento detalhado das áreas susceptíveis dificulta as acções de mitigação dos efeitos das inundações.

Em Fevereiro de 2023, cerca de vinte mil pessoas o equivalente a cinco mil famílias ficaram sitiadas no Distrito de Marracuene em resultado das inundações (O País, 2023).

1.3 Justificativa

Como consequência das alterações climáticas, nos últimos 10 anos o país tem sido fustigado por ciclones tropicais, que além de ventos fortes, são acompanhados por chuvas fortes. Essa chuva forte aumenta o caudal dos rios, pressionam os sistemas de drenagem artificial, deixam o solo saturado reduzindo assim a capacidade de infiltração de águas, facto este que tem causado inundações severas, como as que foram registadas no início do ano nas cidades de Maputo, Matola e Distrito de Boane (RM, 2023).

O distrito de Marracuene, na Província de Maputo, tem mais de 1000 hectares com culturas diversas totalmente submersa. Há estradas intransitáveis, que isolaram quatro bairros, deixando centenas de pessoas sitiadas. As águas, que inundam Marracuene, vêm da África do Sul, do próprio rio Incomáti, que atravessa o distrito de Marracuene, onde também há registo de um dique de retenção de água que rompeu e descarregou águas, cortando a comunicação com a Estrada Nacional Número Um e inundando mais de 100 hectares de cana-de-açúcar (Jornal Notícias, 2024).

1.4 Relevância

A previsão de inundações é uma ferramenta essencial que possibilita a antecipação dos efeitos que possam resultar, ajudando a população a tomar decisões sobre as medidas a implementar mesmo antes do perigo as afectar, num esforço de salvar vidas e bens (MOPHRH, 2020).

A presente pesquisa possui relevância, ao contribuir para o avanço do uso de Sistemas de Informação Geográfica e do método AHP na análise de riscos naturais, apresentando uma metodologia que pode ser replicada em outras áreas com susceptibilidade a inundações. Além disso o estudo apoia a proteção de comunidades expostas, fornece subsídios para o ordenamento do território e promove a sensibilização sobre os riscos associados às inundações sem contar que a identificação de áreas susceptíveis permite reduzir perdas materiais, orientar investimentos em locais mais seguros e preservar zonas agrícolas produtivas no distrito de Marracuene.

1.5 Objectivos

Os objectivos deixam claro o que se pretende alcançar com o estudo e quais são as etapas necessárias para isso, oferece uma direcção clara e ajuda a delimitar o escopo do trabalho.

1.5.1 Objectivo geral

Identificar as áreas que são susceptíveis a inundações no Distrito de Marracuene, com base em uma análise multicritério utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

1.5.2 Objectivos específicos:

- Identificar os factores que contribuem para a susceptibilidade a inundações;
- Atribuir pesos pelo Método de Análise Hierárquica de Processos;
- Validar os resultados com base na sobreposição dos dados de áreas urbanas inundadas fornecidos pela Copernicus.

1.6 Localização da área de estudo

O distrito de Marracuene, situado na parte oriental da Província de Maputo, está localizado 30 Km a Norte da cidade de Maputo, entre a latitude de 25° 48'0" e 25° 30'0" Sul e longitude de 32° 35'31" e 32° 52'59" Este.

É limitado a Norte pelo distrito da Manhiça, a Sul pela Cidade de Maputo, a Oeste pelo distrito da Moamba e cidade da Matola, e a Este é banhado pelo Oceano Índico.

De acordo com os dados mais recentes do (INE, 2024) o Distrito de Marracuene tem uma densidade populacional de 346.1 hab/km². Com uma população de estimada de 230.530 habitantes distribuídos por uma área de 688.077 Km². O Distrito de Marracuene tem apresentado um crescimento populacional considerável, impulsionado pela expansão urbana da cidade de Maputo e pela migração interna. A população do distrito é predominantemente jovem, e a maioria reside em áreas rurais, embora haja um processo crescente de urbanização. A sede do distrito é a vila de Marracuene, situada às margens do rio Incomáti, um dos principais cursos de água da região.

A dependência económica potencial é de aproximadamente 1:1, isto é, por cada criança ou ancião existe uma pessoa em idade activa. O clima é tropical húmido, com duas estações principais: uma chuvosa, de novembro a abril, e outra seca, de maio a outubro. A precipitação média anual varia entre 800 e 1.100 mm, o que favorece atividades agrícolas, embora o excesso de chuvas em algumas áreas possa causar inundações, especialmente nas áreas próximas ao rio.

O distrito é atravessado no sentido Norte-Sul ao longo de uma extensa planície pelo rio Incomati, que vai desaguar no Oceano Índico, no delta da Macaneta.

O Distrito de Marracuene tem dois postos administrativos respectivamente Machubo e Marracuene-Sede. O Posto administrativo de Marracuene-Sede tem as seguintes localidades: Vila de Marracuene, Michafutene, Ngalunde, Matalane e Mahuana. O Posto administrativo de Machubo tem as localidades de : Macandza, Macaneta, Checua, Thaula (Governo do Distrito de Marracuene, 2012).

O Distrito de Marracuene é dominado pelo grupo etnolinguístico Ronga, podendo ser encontrados outros grupos etnolinguísticos como o Changana, Chope e Bitonga (Governo do Distrito de Marracuene, 2012). Segundo as autoridades distritais, as crenças religiosas têm ligação com o grupo etnolinguístico Ronga. A religião dominante neste distrito é a Cristã, que coexiste com outras religiões protestantes. A prática de cultos aos antepassados é comum no distrito.

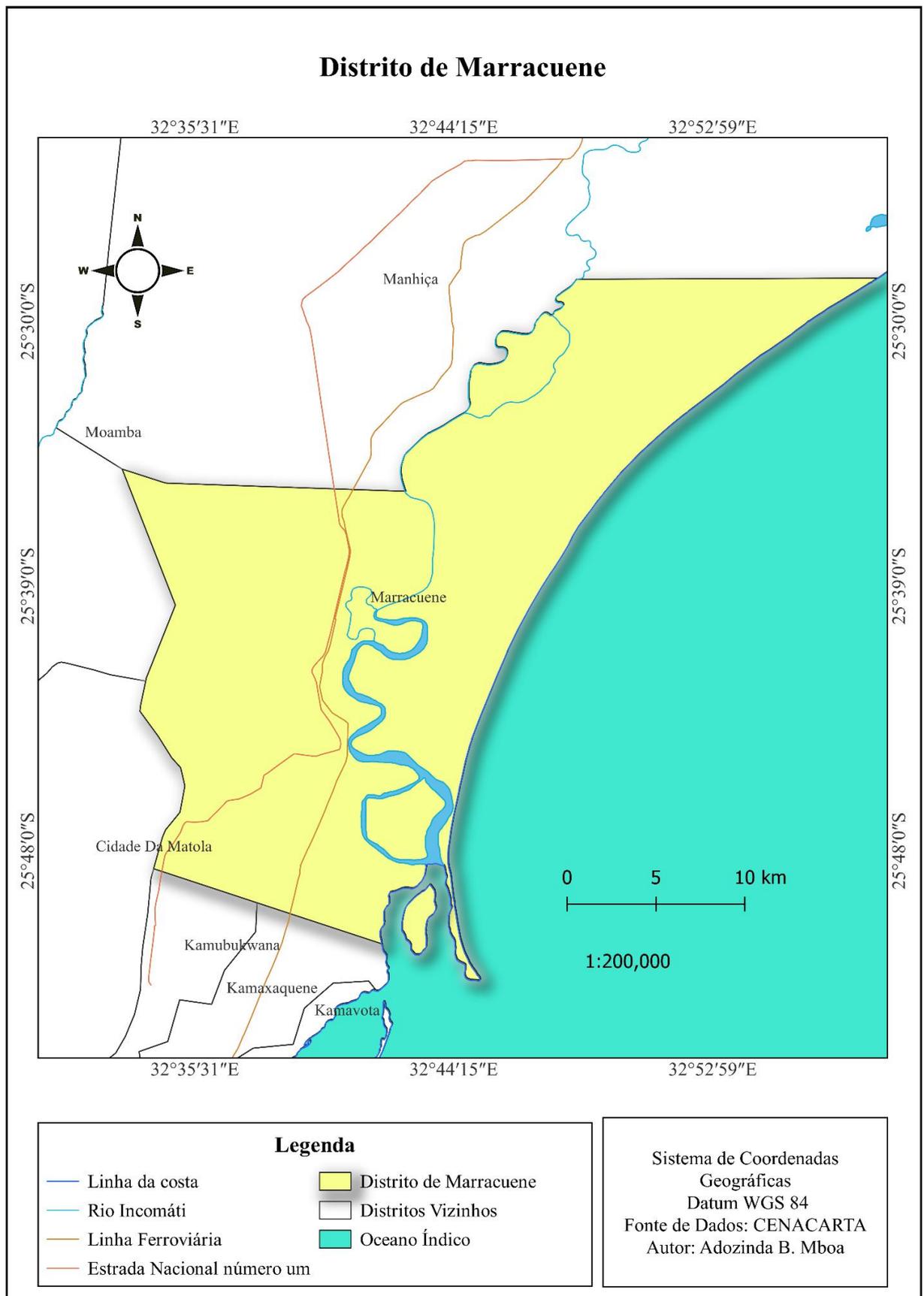


Figura 1: Localização da área de estudo

1.6.1 Relevo e Solos

O relevo é predominantemente plano, com extensas planícies aluviais ao longo do rio Incomáti. A zona costeira apresenta dunas arenosas, especialmente na região da Macaneta, que estão em risco de erosão. A planície aluvionar, ao longo do rio Incomáti é de solos argilosos, estratificados e tufosos (MADDER, 2005).

A faixa litoral de dunas de areia na separação entre o mar e o rio Incomáti na zona da Macaneta corre o risco de desaparecimento, o que a acontecer, teria consequências ecológicas graves para os Distritos de Marracuene, Manhiça e Magude. Com propensão a períodos de seca, a sua vegetação é constituída por savana de gramíneas e arbustos, sendo o solo recomendado para a criação do gado bovino e pequenos ruminantes.

O vale do Incomati, ao longo de uma faixa de 40 km de comprimento, tem solos de bom potencial agrícola e pecuário, que são explorados por um vasto tecido de agricultura privada e familiar.

1.6.2 Infra-estruturas e Serviços

O distrito de Marracuene é atravessado pela Estrada Nacional nº 1 que faculta a comunicação com a cidade de Maputo a Sul e o distrito da Manhiça a Norte.

Estrada Circular de Maputo projectada para melhorar o fluxo de trânsito na na região metropolitana, esta estrada inclui secções que ligam Marracuene e outras áreas como Zimpeto e Costa de sol.

Marracuene possui uma estação de caminho-de-ferro servida pelos comboios de carga e de passageiros em trânsito na linha-férrea de Maputo-Marracuene-Manhiça (Linha do Limpopo). Localmente, o transporte fluvial liga a sede do distrito com a Macaneta e é propriedade da administração do distrito, esta actividade constitui uma das principais fontes de receita pública local.

O distrito é servido pela rede de telecomunicações fixa do país e por duas redes móveis que cobrem a vila sede e a faixa ao longo da EN1. O acesso à Internet pode ser efectuado nas zonas servidas por rede fixa e móvel de telecomunicações, existindo também uma delegação dos Correios de Moçambique (DNAL, 2005).

O Distrito de Marracuene é atendido pelo Sistema de abastecimento de Água de Maputo, que possui extensa rede de distribuição, garantido água potável a população.

O distrito de Marracuene possui 47 escolas (das quais, 37 do ensino primário nível 1), e está servido por 18 unidades sanitárias que possibilitam o acesso progressivo da população aos serviços do

Sistema Nacional de Saúde. A vila de Marracuene e algumas localidades estão cobertas pela rede de distribuição de energia da EDM e por três subsistemas de abastecimento de água com 204 ligações domiciliares (na localidade Sede), 18 fontanários, 223 poços e 22 furos mecânicos com bombas manuais.

O distrito de Marracuene possui 47 escolas (das quais, 37 do ensino primário nível 1), e está servido por 18 unidades sanitárias que possibilitam o acesso progressivo da população aos serviços do Sistema Nacional de Saúde.

O Tribunal Judicial de Marracuene conta com três, quatro salas de audiências e uma secção especializada em conflitos de Terra, sendo o primeiro do País com essa especialização (AIM, 2023).

Esta secção apresenta os fundamentos que fornecem suporte teórico e conceitual das principais técnicas e processos compreendidos para a realização desta pesquisa.

2.1 Fenómenos Hidrológicos extremos

Os eventos extremos fazem parte da dinâmica climática do ambiente, e tornam-se um grande problema quando um determinado local não tem a capacidade de reduzir ou evitar seus efeitos negativos (Gonçalves, 2003 citado por Felizardo, 2016).

Os eventos hidrológicos extremos, como inundações, secas e deslizamentos de terra, afetam significativamente o meio ambiente e a sociedade. Esses fenômenos são frequentemente intensificados pelas mudanças climáticas e pela ocupação inadequada do solo.

A seca faz parte dos fenômenos hidrológicos extremos e é caracterizada pela redução da disponibilidade de água em um determinado período e local, devido à ausência ou escassez prolongada de precipitação. Ela pode afetar o abastecimento de água, a produção agrícola, os ecossistemas e a economia de uma região (Sposob, 2024).

Deslizamentos de terra são classificados como ‘‘movimentos de massa’’, sendo que esse processo se dá pelo desprendimento e transporte do solo ou das rochas. Também fazem parte do andamento natural da formação da terra e são associados a fenômenos naturais como a variação climática (Ferreira *et al.*, 2019).

Os deslizamentos de terra são fenômenos naturais potencializados pela ação humana. Eles são resultantes de movimentos de massa que ocorrem na superfície terrestre. A partir dessa movimentação, uma grande quantidade de diversos rejeitos é movimentada no meio natural, gerando inúmeros impactos no espaço geográfico. Os deslizamentos de terra podem causar enormes perdas econômicas e humanas.

Segundo Muller 2023, as cheias são um fenômeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação nos terrenos ribeirinhos.

É fácil notar o crescimento no número de pessoas afectadas nos últimos anos, mesmo durante eventos pluviais não tão extremos, devido a forma como o ambiente urbano vem crescendo, numa evolução

sem considerar os locais mais adequados para se instalar, ficando muitas vezes próximos a rios ocupando o fundo de vale que em outras épocas era a área de inundação (Ramos, 2011).

2.2 Inundações

Inundações são fenómenos naturais que afectam a vida da humanidade desde a antiguidade. Entre todos os tipos de desastres naturais, as inundações são os que impactam o maior número de pessoas, deixando centenas de milhares de desabrigados todos os anos (Tung, 2002; Moore *et al.*, 2005).

Muitas vezes confundem-se os termos cheias e inundações, no entanto estes dois conceitos não são sinónimos. Todas as cheias provocam inundações, no entanto nem todas as inundações acontecem devidas às cheias. As cheias são “um fenómeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia)”. Por sua vez inundações “são fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa” (Catarina Ramos, 2022). De acordo com (Goerl e Kobiyama 2005) observam que o termo inundação, geralmente é associado a termos como enchentes, inundações graduais, inundações repentinas, alagamentos dentre outras, sendo que os referidos autores alertam, ainda, que tais designações se refiram a um processo similar, não representam um mesmo elemento conceitual.

I Nível Normal: Sulco que comumente escoam as águas;

II Enchente: quando o rio está com o volume elevado até a altura das margens sem transbordar para as áreas adjacentes;

III inundação: o rio encontra-se no leito de enchente e quando aumentam ainda mais o nível d'água transborda alagando as várzeas e caracterizando uma inundação.

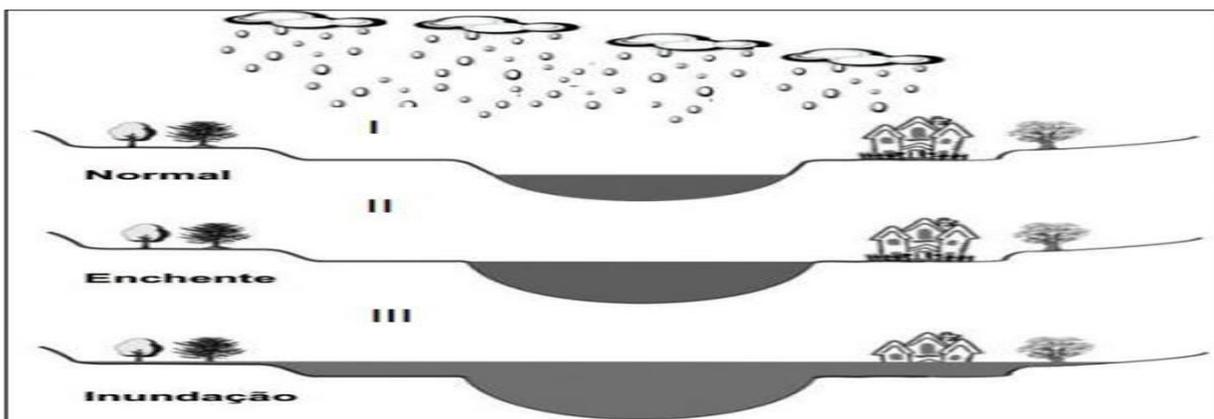


Figura 2: Diferença entre Inundação e Enchente (Goerl e Kobiyama, 2005).

(Kron ,2002) comenta que as inundações se tornaram extremamente severas nas décadas recentes. Isto evidencia que ambos, a intensidade e a frequência, vêm aumentando. Este incremento pode estar associado principalmente ao crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas. Muitas planícies de inundações foram ocupadas por parques industriais e áreas residências. Além disto, os centros urbanos desenvolveram-se, fato que diminui a capacidade de infiltração, aumenta o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente, o pico da vazão das cheias (Vendrame e Lopes, 2005).

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas

Tipo	Causa
Inundação Fluvial	-Chuvas abundantes e / ou intensas -Fusão da Neve ou do Gelo -Efeito combinado chuva + efeito das Marés
Inundação de Depressões Topográficas	-Subida da Toalha freática (natural ou artificial) -Retenção de água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida -Cheias
Inundação Urbana	-Chuva intensa + sobrecargados sistemas de drenagem artificiais - Subida da Toalha freática (natural ou artificial) -Cheias
Inundação Costeira	-Tsunami ou maremoto -Subida eustática do nível do mar -Sismos com fenómenos de subsidência tectónica

(Fonte: Ramos, 2009)

2.2.1 Inundações Fluviais

(Barbosa, 2006) define inundação fluvial como sendo o alagamento de uma área que não está normalmente coberta com água, em decorrência da elevação temporária do nível do rio, lago ou mar. Inundações fluviais, também conhecidas como inundações por transbordamento de rios, são eventos

naturais que ocorrem quando a água dos rios excede sua capacidade de contenção e espalha por suas margens, inundando áreas adjacentes (Damasco *et al.*, 2014).

(Elorza, 2008) aponta que as inundações fluviais ocorrem quando há fortes chuvas que causam o transbordo da água de rios e lagos, e são fenómenos hidrológicos extremos, frequência variável, naturais ou induzidos pela acção humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa.

Segundo (Lourenço e Nunes, 2022) essas inundações são provocadas por vários factores incluindo:

- **Chuvas intensas:** Precipitações prolongadas ou chuvas intensas podem aumentar o volume de água nos rios a níveis perigosos.
- **Derretimento da neve:** Em áreas onde há neve acumulada no inverno, o derretimento da neve na primavera pode aumentar o fluxo de água dos rios.
- **Drenagem de áreas circundantes:** O escoamento de água de áreas adjacentes, como lagos e pântanos, pode aumentar o nível do rio.
- **Obstruções fluviais:** A presença de obstruções, como troncos de árvores ou detritos, pode restringir o fluxo do rio e causar inundações.

2.2.2 Inundações Urbana

As inundações urbanas ocorrem devido às precipitações excessivas, que associadas a um elevado nível de impermeabilização, geram um elevado escoamento superficial, que ultrapassa a capacidade do sistema de drenagem das águas (Oliveira *et al.*, 2005 citado por Almeida, 2015).

A impermeabilização dos solos/terrenos leva à diminuição da infiltração, sendo que a precipitação que anteriormente se infiltrava, transforma-se em escoamento superficial directo (Leal, 2019). Portanto para além do aumento do volume, também a velocidade do escoamento superficial aumenta devido à menor rugosidade dos materiais utilizados em espaços construídos, o que, por sua vez, provoca reduções nos tempos de concentração e de resposta das bacias hidrográficas (Ferreira, 2005).

As inundações urbanas podem ter origens diferentes de acordo com os factores desencadeantes, dos quais se destacam: chuvas prolongadas originando cheias dos grandes rios; subida da temperatura com fusão de grandes quantidades de neve (cheias de fusão); chuvas intensas com cheias de pequenos e médios cursos de água; chuvas intensas juntamente com sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais da cidade; subida da toalha freática; galgamentos marinhos (no caso das cidades costeiras) (Mário e Uacane, 2023).

2.3 Inundações em Moçambique

Historicamente Moçambique é um país vulnerável aos eventos climáticos extremos (secas, cheias, inundações, ciclones e tempestades tropicais), devido à predominância das precárias condições socioeconómicas da população (prática de agricultura dependente de condições climáticas) e de baixa produtividade, elevado índice de pobreza (IOF, 2021; Kamer, 2022), insegurança alimentar associadas à localização geográfica do país, a jusante de cerca de 9 bacias hidrográficas principais partilhadas com os países da África Austral, na costa oeste da zona de desenvolvimento dos ciclones tropicais, e à existência de cerca de 2.700 km de extensão costeira (Bié, 2022).

Esta vulnerabilidade é exacerbada pelas mudanças climáticas que, de acordo com o Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), espera-se um aumento da intensidade e magnitude dos eventos climáticos extremos. Em Moçambique, nas últimas 4 décadas, registaram-se cerca de 13 secas, 27 ciclones e 36 inundações, acompanhados de 29 epidemias diversas, com uma tendência de aumento anual de todos os eventos climáticos extremos (Lasse, 2023).



Figura 3: Inundações em Moçambique (Fonte: OMR, 2023)

2.3.1 Inundações no Distrito de Marracuene

No princípio do mês de fevereiro de 2023 chuvas extremas em algumas áreas de Moçambique e nos países vizinhos levantaram um alerta vermelho para as no país. A situação foi particularmente preocupante na província de Maputo, porque a África do Sul e o reino de Essuatíni também vinham sofrendo chuvas extremas e os seus rios estavam acima do seu nível médio de escoamento. É a partir

de imagens aéreas que se tem a dimensão real dos estragos que a água da chuva, combinada com o transbordo do Incomáti, está a causar em Marracuene. A água, vinda do Incomáti, ameaça também o centro de saúde local. Uma parte das áreas de pastagens está perdida, o que pode pôr em risco o gado. Os postes de transporte de energia eléctrica estão submersos (o País, 2023).



Figura 4: Inundações em Marracuene

Com relação ao risco de cheias, o estudo do INGC (2020) indica que as alterações climáticas poderão contribuir para um aumento na magnitude dos picos de cheias ao longo do curso do rio Incomati. Desta forma, o risco de cheia, que actualmente é já elevado no Distrito de Marracuene, poderá ser agravado.

Estatisticamente, Marracuene não é muito propensa à ocorrência de ciclones, sendo a Vila de Marracuene classificado como tendo um risco baixo de ser atingido por um ciclone. Este distrito, nos últimos 40 anos, foi atingido pelo ciclone Domoina em 1984. No que diz respeito a inundações, o risco do distrito é muito alto a este tipo de fenómeno (MICOA, 2007).

2.4 Factores que contribuem para a Susceptibilidade a Inundações

Ao consultar a vasta literatura específica, fica evidente que não existe uma concordância exata sobre quais parâmetros devem ser usados nas avaliações de suscetibilidade a inundações. Entretanto, existem certos critérios considerados como indispensáveis nessa análise. A ausência de um ou outro

critério pode estar relacionada com a falta de dados ou até preferências do autor, atendendo as características da área de estudo (Tehrany *et al.*, 2015).

2.4.1 Altitude

(Otokiti 2019), define a altitude como a altura de um determinado lugar acima do nível do mar. Para o autor, trata-se de um factor primário que controla a ocorrência de inundações em uma determinada área. A altitude, segundo (Fernandez e Lutz, 2010), sempre desempenhou um papel importante no mapeamento da suscetibilidade de inundações através do movimento horizontal da água na paisagem. Assim, a água tende a se acumular nas áreas mais baixas e planas (Mariappan *et al.*, 2019). O movimento e profundidade das inundações são determinados pela altitude. Zonas baixas e planas inundam mais rapidamente em relação àquelas elevadas e íngremes, dado o facto de que altitudes mais baixas são mais suscetíveis a inundações repentinas pelo acúmulo simultâneo de água da chuva (Waqas *et al.*, 2021). Em regiões de baixa altitude, especialmente em planícies, a água tende a se acumular, aumentando o risco de inundação, já que essas áreas geralmente recebem o escoamento de regiões mais altas, como descrito na tabela 2.

Considera-se que, quanto maior for a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei da gravidade que direciona o escoamento das águas para as regiões mais baixas (Magalhães *et al.*, 2011).

Tabela 2: Intervalo e indicador da Altitude

Fonte	Altitude (m)	Indicador
Cury et al. (2021) e Maziva (2015)	0 – 32	Muito Elevada
	32 – 64	Elevada
	64 – 96	Moderada
	96 – 128	Baixa
	128 – 160	Muito Baixa

2.4.2 Geologia

A geologia de uma área tem grande influência nas inundações, posto que as propriedades hidráulicas do leito rochoso podem influenciar o potencial de inundação. Rochas altamente porosas, fraturadas e permeáveis contribuem para a infiltração da água da chuva, reduzindo assim o potencial de inundação, enquanto o inverso é visto com leito rochoso menos poroso, compacto e impermeável (Nandi *et al.*, 2016). Desse modo, pode-se afirmar que a geologia atua como um fator de permeabilidade e no escoamento superficial na inundação de bacias hidrográficas (Haghizadeh *et al.*, 2017). Dito de outra forma, a principal característica das superfícies de escoamento superficial é a

capacidade de absorção. Da mesma forma, em comparação com uma camada permeável, o solo impermeável causa escoamento superficial rápido e significativo (Waqas *et al.*, 2021).

2.4.3 Declividade

A declividade representa o grau de inclinação de uma feição em relação ao plano horizontal. Ela influencia a direção e volume das águas superficiais de um determinado lugar, pois regula a velocidade do escoamento superficial e a percolação vertical que afeta a suscetibilidade a inundações (Nachappaa *et al.*, 2020).

Um gradiente de declividade baixo é altamente vulnerável a ocorrências de inundações em comparação com as declividades elevadas. Isso ocorre porque a chuva ou o excesso de água do rio sempre se acumulam em uma área onde a declividade é baixa (Ouma e Tateishi, 2014; Gigovic *et al.*, 2017; Mariappan *et al.*, 2019).

Em áreas planas, a água esco lentamente ou pode até se acumular, aumentando o risco de inundação, especialmente em locais com baixa capacidade de drenagem, regiões montanhosas ou inclinadas, o escoamento rápido direciona grandes volumes de água para áreas de planície ou baixa altitude, acumulando água e sobrecarregando as áreas de drenagem a jusante, o que pode levar a inundações nessas áreas. De acordo com (Rahmati *et al.*, 2015), o fator declividade deve ser considerado na determinação de áreas propensas às inundações.

A declividade do terreno influencia diretamente no acúmulo de água. Áreas consideradas planas apresentam maiores índices de probabilidades de sofrerem inundações do que áreas escarpadas (Magalhães *et al.*, 2011).

Tabela 3: Intervalo e indicador da Declividade

Fonte	Intervalo (%)	Indicador
Cury et al. (2021) e Maziva (2015)	0 – 3 (plano)	Muito Elevada
	3 – 6 (suave ondulado)	Elevada
	6 – 9 (ondulado)	Moderada
	9 – 15 (forte ondulado)	Baixa
	>15 (Escarpado)	Muito Baixa

2.4.4 Precipitação

(Tucci, 1993) entende a precipitação como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. quando a precipitação é intensa a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem.

Para (Tucci e Bertoni, 2003) o excesso de volume de água que não consegue ser drenado, uma vez que o solo já não tem mais capacidade de infiltrar, grande parte desse volume escoar para a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Quando há chuvas intensas em um curto período de tempo, o volume de água que atinge o solo pode ser muito maior do que ele consegue absorver. Esse excesso gera escoamento superficial, pois a capacidade de infiltração é excedida, levando a possíveis inundações. Períodos de precipitação acumulada, como épocas de monções ou estações chuvosas prolongadas, aumentam a saturação do solo, impedindo-o de absorver mais água e elevando o risco de inundações.

Tabela 4: Intervalo e Intensidade da precipitação

Fonte	Intervalo	Intensidade da Precipitação
Soriano F. e Galdino, 2002	0 – 5	Muito Fraca
	5 – 10	Fraca
	10 – 15	Moderadamente Fraca
	15 – 20	Moderada
	20 – 25	Moderadamente Forte
	25 – 30	Forte
	>30	Muito Forte

2.4.5 Solos

Da água que atinge a superfície do solo, parte é retida nas depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoar pela superfície do terreno. O escoamento da água que atinge a superfície do terreno acontece, portanto, após a intensidade da precipitação superar a capacidade de infiltração do solo e depois de serem preenchidas as depressões armazenadoras da superfície (Barbosa Junior, 2014). O tipo do solo reflete diretamente na taxa de infiltração da água na superfície e na capacidade de retenção de água, dependendo de variáveis como a porosidade e compactação características do solo, onde diferentes tipos de solo possuem diferente capacidade, o que resulta em um aumento no escoamento superficial se o mesmo não possuir boa capacidade de infiltração (Magalhães *et al.*, 2011).

Solos com baixa permeabilidade, como os argilosos, limitam a infiltração de água, resultando em maior escoamento superficial durante eventos de chuva. Em solos já saturados por chuvas anteriores, qualquer precipitação adicional tende a se transformar em escoamento superficial, aumentando a suscetibilidade a inundações, mesmo com precipitações moderadas.

Tabela 5: Tipos e Característica dos solos

Tipos de Solos	Característica
Solos argilosos vermelhos e profundos	Bem drenados e muito baixa fertilidade
Solos franco – argiloso – arenoso - avermelhados	Fertilidade baixa e intermediária susceptível a erosão
Solos franco – argiloso – acastanhados – evoluídos e férteis	Favorável à agricultura
Solos argilosos vermelhos	Fertilidade intermediária e boa
Solos arenosos avermelhados	Fertilidade muito baixa e baixa retenção de água
Solos arenosos brancos	Fertilidade muito baixa e baixa retenção de água

Fonte: Armino Adalberto, 2022

A capacidade de infiltração é uma das medidas do solo e depende direta e indiretamente da temperatura da água e da condição de contorno, qual seja, a profundidade do solo (Villela; Mattos, 1975).

2.4.6 Cursos de água

A inundação constitui-se em processo de extravasamento das águas de um curso de água para áreas marginais, ou seja, ocorre quando o fluxo de água é superior à capacidade de descargas do canal.

Segundo Cury *et al.*, (2021) ressaltam que os rios de menor ordem proporcionam suscetibilidade de inundação relativamente baixa, quando comparados aos rios de maior ordem. Entretanto, de acordo com Cunha *et al.*, (2012), todos os cursos de água colaboram para a ocorrência de cheias e inundações, pois compõem um processo natural, associado a todos os cursos de água. Cada rio tem uma capacidade natural de transportar um certo volume de água, quando o volume de água ultrapassa essa capacidade, o rio transborda, inundando as áreas próximas.

A forma e profundidade do leito, junto com as características das margens, afetam a maneira como a água escoar. Leitões mais rasos ou margens frágeis têm maior risco de transbordar, enquanto rios mais profundos e com margens reforçadas suportam melhor volumes altos.

O acúmulo de sedimentos, galhos, lixo e outros materiais reduz a capacidade de escoamento do rio, bloqueando parcialmente o fluxo de água e elevando o nível do rio em alguns trechos. Em períodos

de chuva forte, esses obstáculos diminuem a velocidade do escoamento e aumentam o risco de transbordar e inundação nas áreas adjacentes ao curso de água.

Tabela 6: Distância e Indicador dos cursos de água

Fonte	Distância (m)	Indicador
Cury et al. (2021) e Maziva (2015)	0 – 1400	Muito Elevada
	1400 – 2800	Elevada
	2800 – 4200	Moderada
	4200 – 5600	Baixa
	>7000	Muito Baixa

2.4.7 Uso e ocupação da terra

A forma de ocupação da terra influencia na infiltração e escoamento superficial da água. Para (Magalhães *et al.*, 2011) “as áreas com maior impermeabilidade, como áreas urbanas pavimentadas, impedem a infiltração de água, gerando volumes maiores de escoamento e elevando o risco de acúmulo de água em áreas baixas”. Em áreas desmatadas ou com solo exposto, a ausência de vegetação reduz a absorção de água e aumenta o escoamento, pois não há raízes para estabilizar o solo e retardar o fluxo de água, aumentando a probabilidade de inundação.

Percebe-se, portanto, que o indicador de uso e ocupação do solo é dinâmico e imprescindível para demonstrar de que maneira o espaço foi ocupado pelo homem e a interferência nos mecanismos de infiltração e escoamento superficial da água terreno.

2.5 Susceptibilidades

O termo susceptibilidade para (Wilver, 2010) designa a potencialidade de ocorrência de um determinado fenômeno em algum local, levando em consideração a predisposição natural do ambiente para que o fenômeno ocorra.

(Garcia e Zêzere, 2013) definem o termo susceptibilidade como “possibilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área com base em fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência”. De acordo com o (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2014), a susceptibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo.

Conforme (Lima, 2010) a susceptibilidade consiste em um ou mais atributos físicos que uma área possui e a que a torna potencialmente sujeita à ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica.

Para (Julião *et al.*, 2009) a susceptibilidade representa a tendência de uma área ser afetada por um

determinado perigo, por tempo indeterminado. A susceptibilidade para (Carvalho *et al.*, 2006) indica a potencialidade de ocorrer processos naturais e induzidos em um determinado local, expressando-se conforme as classes de probabilidade de ocorrência.

2.6 Geoprocessamento

O termo pode ser separado em geo (terra – superfície – espaço) e processamento (de informações – informática). Desta forma, pode ser definido como um ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas utilizando aplicativos (normalmente SIGs), equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados. Este conjunto deve permitir a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados principalmente à localização de informações sobre a superfície da terra.

É o conjunto de todas as ciências e tecnologias (Geografia, Cartografia, Topografia, Geodesia, DR, SIG) utilizadas para efectuar vários processos com dados e informações geograficamente referenciadas (Moreira, 2012).

O geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades, e pode ser definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais ou georreferenciadas (Xavier, 2022).

É importante observar que informações georreferenciadas têm como característica principal o atributo de localização, ou seja, estão ligadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas.

2.6.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Um SIG é um sistema constituído e operacional. Uma definição clássica de SIG seria a de um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos (Burrugh e Mcdonnell, 1998).

Atualmente vemos que sua definição exige um pouco mais de complexidade, decorrente de uma estrutura formada por pessoas, empresas ou instituições, somadas a técnicas e métodos que se operacionalizam através de rotinas e ferramentas programadas em softwares diversos, que ganham funcionalidade através de equipamentos e hardwares diferentes, no intuito de coletar ou gerar dados, principalmente georreferenciados, armazenar, editar, processar esses dados; afim de gerar novos dados e ou informações a serem disponibilizados através desse grande sistema constituído (Zaidan, 2022). Em síntese, um conjunto sofisticado de equipamentos e programas de computador contendo quatro subsistemas:



Figura 5: Síntese sofisticado de equipamentos e programas de computador

2.6.2 Áreas de aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm uma ampla gama de aplicações, abrangendo diversas áreas devido à sua capacidade de integrar, analisar e visualizar dados espaciais e não espaciais.

Tabela 7: Descrição das áreas de aplicação do SIG

Área de Aplicação	Descrição	Autor
Planeamento e Gestão Territorial	Zoneamento urbano e rural, planejamento de infraestrutura, gestão de uso e ocupação do solo.	Longley, (2015)
Gestão Ambiental	Monitoramento de desmatamento, inundações, análise de impactos ambientais, gestão de bacias hidrográficas	
Topografia e Engenharia	Geração de MDE, planeamento de obras, análise de corte e aterro, modelagem do terreno.	
Gestão de Desastres Naturais	Mapeamento de áreas de risco, planeamento de evacuações, monitoramento de eventos extremos.	
Saúde Pública	Mapeamento de doenças, planeamento de serviços de saúde, monitoramento de surtos epidêmicos.	
Transportes e Logística	Planeamento de rotas, análise de redes de transporte, otimização de tráfego e fluxo logístico.	

2.6.3 Aplicação dos SIG no monitoramento das Inundações

As inundações acontecem quando o volume de água originado pela queda de chuva ou pela abertura das comportas de uma barragem se deslocam ao longo de um rio e estes não têm capacidade para escoar a água à mesma velocidade a que ela chega (Maziva, 2015).

O ritmo a que a água avança após transbordar depende de vários factores. Entre os quais citam-se:

- Tipo de uso e ocupação do solo das margens;
- Declive do terreno.

Esta análise descritiva permite-nos criar um modelo local que possibilita a criação de mapas de susceptibilidade a inundações, por sobreposição dos vários mapas que caracterizam o terreno. Os SIG constituem a ferramenta ideal para fazer este trabalho, pois permitem capturar, armazenar e manipular grandes volumes de informação georreferenciada, como é o caso do fenómeno das inundações.

2.6.4 Fonte de dados

Todo software SIG abrange um sistema de gerenciamento de banco de dados capaz de manipular e integrar dois tipos de dados: os dados espaciais e dados de atributos, permitindo criar informações e facilitar a análise. Essa é uma vantagem desse sistema em relação a outros tipos de sistemas informatizados. Os dados espaciais podem ser representados de forma vetorial ou matricial, já os dados de atributo são compostos por códigos alfanuméricos, armazenados em tabelas.

Os dados manipulados em um SIG podem ser entidades ou fenômenos geográficos distribuídos sobre a superfície da terra, podendo pertencer a sistemas naturais ou criados pelo homem, tais como, tipos de solos, vegetação, cidades, propriedades rurais ou urbanas, redes de telefonia, escolas, hospitais, fluxo de veículos, aspectos climáticos, (Geoaplicada, 2023).

2.6.5 Reclassificação

A reclassificação em SIG é um processo de transformação dos valores de um raster ou vetor com base em critérios específicos, criando uma nova camada com valores categorizados. É amplamente usada em análises espaciais para simplificar ou reorganizar dados, facilitando a interpretação e a tomada de decisão. As ferramentas de reclassificação raster são utilizadas para reclassificar ou alterar os valores das células para valores alternativos usando uma variedade de métodos, pode reclassificar um valor de cada vez ou grupos de valores de uma vez com base em critérios, tais como intervalos específicos ou por área, (Lawhead, 2023).

2.7 Análise Multicritério para tomada de decisão

Os métodos de análise multicritério são destinados à solução de problemas que consideram o uso de mais de um critério para avaliação de uma ou mais alternativas. Esses métodos são um importante conjunto de ferramentas para tratar situações complexas de tomada de decisão em organizações, auxiliando os gestores em um contexto de incertezas, complexidade e objetivos conflitantes (Lima Junior; Carpinetti, 2015).

Um método de análise multicritério possui um carácter científico e auxilia na realização de uma análise mais ampla do problema de decisão, considerando todas as características importantes a partir da sua representação por um modelo de decisão multicritério. A aplicação do método de análise multicritério não apresenta ao tomador da decisão uma solução, e sim apoia o processo de decisão ao estabelecer uma avaliação adequada das alternativas e dos dados do problema. Esses métodos são capazes de contribuir para a eficiência da tomada de decisão por justificar os processos de decisão e por permitirem o processamento mais rápido e automatizado dos dados.

Segundo (Medeiro, 2013), para dar suporte à tomada de decisão, com possibilidade de análise comparativa de factores ou atributos, e de múltiplos cenários, surgiu, a partir da década de 1960, os Métodos de Análise Multicritério (MAM). Entretanto os MAM diferenciam-se entre si na especificação dos critérios que serão utilizados (escolha e níveis de preferência) e em como tais critérios e subcritérios serão categorizados ou hierarquizados, de maneira que, dependendo do objectivo, tem-se a possibilidade de um ou mais métodos para uso.

(Silva e Belderrain, 2005), salientam que a maioria desses métodos utiliza a modelagem matemática para harmonizar o processo de tomada de decisão, comparando alternativas ou cenários, de modo a apontar soluções mais adequadas aos interessados e/ou tomadores de decisão.

2.7.1 Análise Multicritério em ambiente SIG

A análise multicritérios com abordagem espacial têm sido comumente utilizada para planeamento do desenvolvimento, ocupação e uso do solo, no estudo e seleção de áreas aptas a diferentes usos (quais poderiam acarretar mais ou menos impactos perniciosos nos processos ambientais), em avaliações de impacto ambiental (previsões qualitativas desses processos), além da aptidão ou não de áreas para implementação de construções privadas e/ou públicas (Pimenta *et al.*, 2019).

Os SIG oferecem capacidades únicas na automatização, gestão e análise de dados espaciais para a tomada de decisão, tem papel importante na análise de problemas de decisão multicritério. A seleção de locais adequados para determinado fim é um problema clássico que tem utilizado os SIG como sua principal ferramenta, especialmente após a crescente oferta de softwares e linguagens de programação capazes de manusear as bases espaciais disponíveis nas mais diversas bases de dados nacionais e internacionais (Almeida *et al.*, 2020).

2.7.2 O método AHP como instrumento de tomada de decisão multicritérios

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é um método de análise multicritério estruturado para lidar com decisões complexas, identificando as prioridades. Foi desenvolvido durante a década de 70 para

ser aplicado ao planejamento militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados (Saaty, 1986).

O método funciona criando uma hierarquia de níveis e atribuindo pesos a cada um dos critérios, permitindo a comparação entre eles através de uma escala pré-definida. Teoricamente, o método ao invés de prescrever uma decisão correta, ele auxilia os tomadores de decisão a encontrar qual é a solução que melhor se encaixa para o problema. Isso implica que o AHP possui uma abordagem baseada genuinamente na habilidade das pessoas de tomarem decisões críticas, tendo como princípio que para à tomada de decisão, a experiência e o conhecimento é tão valioso quanto os dados a serem utilizados. O propósito do método é julgar as alternativas dadas para um objetivo em particular através do desenvolvimento de prioridades para essas alternativas e para os critérios selecionados.

O método AHP é baseado na decomposição e síntese das relações entre os critérios e alternativas, até que se obtenha a priorização de seus indicadores, aproximando os resultados da melhor resposta de medição única de desempenho (Marchezetti, 2011).

Esse método é utilizado em problemas de decisão que necessitam de uma priorização de possíveis soluções através da avaliação e análise de um conjunto de critérios, apresentando um caráter compensatório, quando um mau desempenho em um critério pode ser compensado por um bom desempenho em outro critério.

Conforme (Saaty 1990), a fase mais importante da criação do modelo de decisão é a escolha dos fatores mais relevantes para essa análise.

O método AHP, conforme apresentado por (Sousa *et al.*, 2017), consiste em três operações principais, incluindo a construção de hierarquia, análise de prioridade e verificação de consistência, apesar de ser uma estrutura considerada normativa, ainda carrega um nível de subjetividade.

Já (Saaty, 2008) argumenta que, mesmo a escala de preferência sendo considerada objectiva, o julgamento e as preferências por parte do avaliador terão sempre um caráter subjectivo, já que estas possuem pesos proporcionais ao grau de importância dado a elas pelo tomador de decisão. Assim, os pesos serão atribuídos aos diferentes critérios e alternativas que caracterizam uma decisão, possibilitando escolher a melhor alternativa ao problema. Para prosseguir com o processo de hierarquização proposto pelo método AHP, adaptou-se a escala absoluta de Saaty (1987), que contém a intensidade (de 1 a 9), definição e a justificativa de cada um dos itens.

Tabela 8: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o Processo decisório com AHP

Intensidade da importância da escala absoluta	Definição	Justificativa
1	Igual importância	As duas actividades contribuem equitativamente para o objectivo
3	Importância moderada de um sobre o outro fator	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma actividade sobre a outra
5	Essencial ou forte importância	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma actividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma actividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância Extrema	Evidência favorecendo uma actividade sobre a outra é a mais expressiva possível na ordem de afirmação
2,4,6,8	Valores intermediários entre os julgamentos adjacentes	Quando há necessidade de compromisso
Fonte: Pimenta et al., 2019		

2.7.2.1 Construção de Hierarquias

Conforme (Bornia e Wernke, 2001), a estruturação em níveis hierárquicos permite aos tomadores de decisão realizar comparações de pares para determinar a importância relativa dos critérios e a adequação das alternativas. Essas comparações são registradas em uma matriz de comparação de pares.

A construção de hierarquias é uma etapa fundamental no AHP e em outras técnicas multicritério, pois ajuda a organizar o processo de decisão de forma clara e estruturada. Isso permite aos decisores de compor uma decisão complexa em partes menores, tornando mais fácil a avaliação e a comparação de critérios e alternativas (Lima et al., 2015).

O objetivo desta etapa é fornecer uma linguagem clara para o debate de todo o processo decisório, sendo necessária a compreensão do problema a ser solucionado, analisando-se e caracterizando todo o contexto em que o problema está inserido. Assim, são criados os critérios e subcritérios que compõem a estrutura do modelo, devendo os mesmos serem precisos de modo a evitar dificuldades no processo de decisão.

No entanto há casos em que a quantificação do julgamento do avaliador entre dois critérios envolve dificuldades associadas com erros na mensuração dos atributos, imparcialidade nas avaliações e disponibilidade de informação, bem como imprecisões e ambiguidades inerentes ao procedimento da análise pareada. Dessa forma, alguns estudos optam por utilizar a escala de relativa importância (Pimenta *et al.*, 2019).

A partir da escala absoluta, a qual atribui valores de 1 a 9, tem-se uma nova escala que determina a importância relativa de uma alternativa com a outra, facilitando o processo de decisão (Neves *et al.*, 2022).

Inicialmente o avaliador deve julgar se o critério “A” é mais importante que o “B” (menos importante e mais importante) e, sendo este o caso, quanto “A” é melhor que “B”, onde se inserem os pesos utilizando-se a escala para quantificar essa percepção.

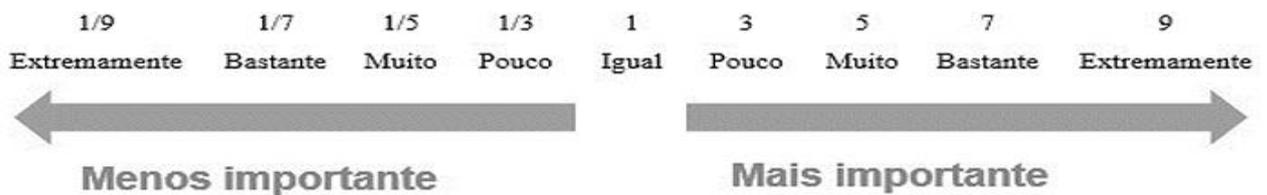


Figura 6: Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada. Fonte: (Pimenta *et al.*, 2019).

O critério mais importante da comparação usa-se um valor inteiro da escala e o menos importante o inverso dessa unidade. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre os dois critérios, os valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas (Beltrão *et al.*, 2021)

Exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos ou matriz de comparação de acordo com o método AHP.

Matriz A

$$\begin{bmatrix}
 . & A & B & C & D \\
 A & 1 & 5 & 6 & 7 \\
 B & 1/5 & 1 & 4 & 6 \\
 C & 1/6 & 1/4 & 1 & 4 \\
 D & 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1
 \end{bmatrix}$$

As posições da diagonal serão sempre **1**, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela, que apresenta a escala de comparações empregadas no método. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma (Miranda et al. 2020).

Para obter a prioridade relativa de cada critério é necessário:

- Normalizar os valores da matriz de comparações: o objetivo é igualar todos os critérios a uma mesma unidade, isto é a soma dos elementos deve ser igual 1.
- Obter o vector de prioridades: o objetivo é identificar a ordem de importância de cada critério.

2.7.2.2 Pesos dos critérios

Os pesos referem-se às importâncias relativas atribuídas aos critérios ou alternativas em um processo de tomada de decisão multicritério. O AHP sendo uma técnica usada para auxiliar na escolha entre várias alternativas em uma hierarquia de critérios, os pesos são usados para quantificar a importância relativa de cada critério em relação aos outros na tomada de decisão (Pimenta *et al.*, 2019).

Lima *et al.*, (2015) afirmam que 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 autores essas comparações são então usadas para calcular os pesos de forma consistente e matematicamente precisa, garantido que as preferências dos decisores sejam levadas em consideração de maneira coerente.

2.7.2.3 Avaliação da consistência do Método

Muitas vezes durante a aplicação do método AHP, matrizes inconsistentes são geradas devido a julgamento intransitivos. Saaty (1991) propôs um método para a avaliação da consistência dos valores julgados com o intuito de analisar se os pesos estimados para os critérios foram consistentes ou não. A avaliação da consistência do método AHP realiza-se com base na Razão de Consistência (RC) que é dada pela equação 1. Se o RC for maior que 0,1 os julgamentos ou os valores de comparação atribuídos na construção da matriz, não são confiáveis (Saaty, 1990).

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

Onde:

IC = Índice de consistência dos julgamentos;

IR = Índice de consistência randômico.

(Equação 1)

Calcula-se o **Índice de Consistência (IC)** de uma matriz de comparação de critérios, com base na relação entre a ordem dessa matriz (n) e o seu maior autovalor (λ_{max}). Assim, Saaty (1990), propôs o IC conforme mostrado na Equação 2, para a determinação do Índice de Consistência.

(Equação 2)

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

Onde: λ_{max} (máximo autovector) – é o índice que relaciona os critérios da matriz de consistência e os pesos dos critérios.

n – é o número de factores.

O **índice de consistência randômico (IR)** é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*.

Tabela 9: Valores de RI para matriz quadrada de ordem até 15.

Nº de Variáveis(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice Randômico	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

(Fonte: Saaty, 1987)

Material e Métodos

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos e os recursos tecnológicos utilizados para identificar áreas de suscetibilidade a inundações, detalhando fontes e procedimentos adotado.

3.1 Materiais

Com o intuito de cumprir os objetivos delineados neste trabalho, foi necessário reunir um conjunto diversificado de dados, provenientes de diferentes fontes. As informações relativas à divisão administrativa, à rede hidrográfica e aos tipos de solos foram disponibilizadas pela CENACARTA, órgão responsável pela produção e disponibilização de dados cartográficos em Moçambique.

Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos a partir do produto ESA WorldCover, que utiliza imagens do satélite Sentinel-2B com resolução espacial de 10 metros, correspondentes ao ano de 2021. Esses dados foram acessados através do portal da Agência Espacial Europeia (ESA), disponível em: <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>.

As variáveis climáticas de precipitação foram extraídas da base de dados do WorldClim, acessível pelo link: https://www.worldclim.org/data/index.html#google_vignette.

Por fim, o Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da missão SRTM, foi adquirido através do site da USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), com resolução espacial de 30 metros, sendo este utilizado para derivar informações topográficas, como a Declividade e Hipsometria.

Tabela 10: Descrição dos dados

Dados	Formato	Modelo de Dados	Fonte
Divisão Administrativa	Shapefile	Vectorial	CENACARTA
Tipo de Solo			
Cursos de água			
Precipitação	GeoTiff	Matricial	WorldClim
Uso e cobertura do Solo			ESA Global
MDE			USGS

3.1.1 Equipamentos Computacionais usados

Para realização deste trabalho foram utilizados diferentes programas computacionais (softwares), que possibilitaram a manipulação e o processamento dos dados recolhidos. Esses softwares foram essenciais em etapas como o cruzamento de informações e a geração de mapas temáticos, conforme descrito adiante na tabela abaixo:

Tabela 11: Descrição dos programas utilizados

Programas e sua Versão	Função
Word 2019	Redação do trabalho
Excel 2019	Criação de tabelas e cálculos
Draw.io 13.9.9	Elaboração de esquemas (fluxograma)
AHP Calculator	Elaboração da matriz de comparação par a par
QGIS 3.28.1	Elaboração de mapas e validação dos resultados

3.2 Processos metodológicos

Este estudo adotou uma abordagem baseada em análise multicritério para avaliar e comparar os fatores que influenciam a ocorrência de inundações na área de estudo. Para definir os pesos dos critérios e gerar áreas de suscetibilidade, foi utilizado o método AHP, que permite hierarquizar e ponderar os elementos de forma estruturada. A figura ilustrada abaixo, apresenta em forma de fluxograma, os procedimentos completos para o desenvolvimento do presente trabalho, de modo a identificar áreas susceptíveis a inundações naquele Distrito, desde a aquisição de dados, ao seu processamento através de técnicas de geoprocessamento até a validação do mesmo e por fim o producto final.

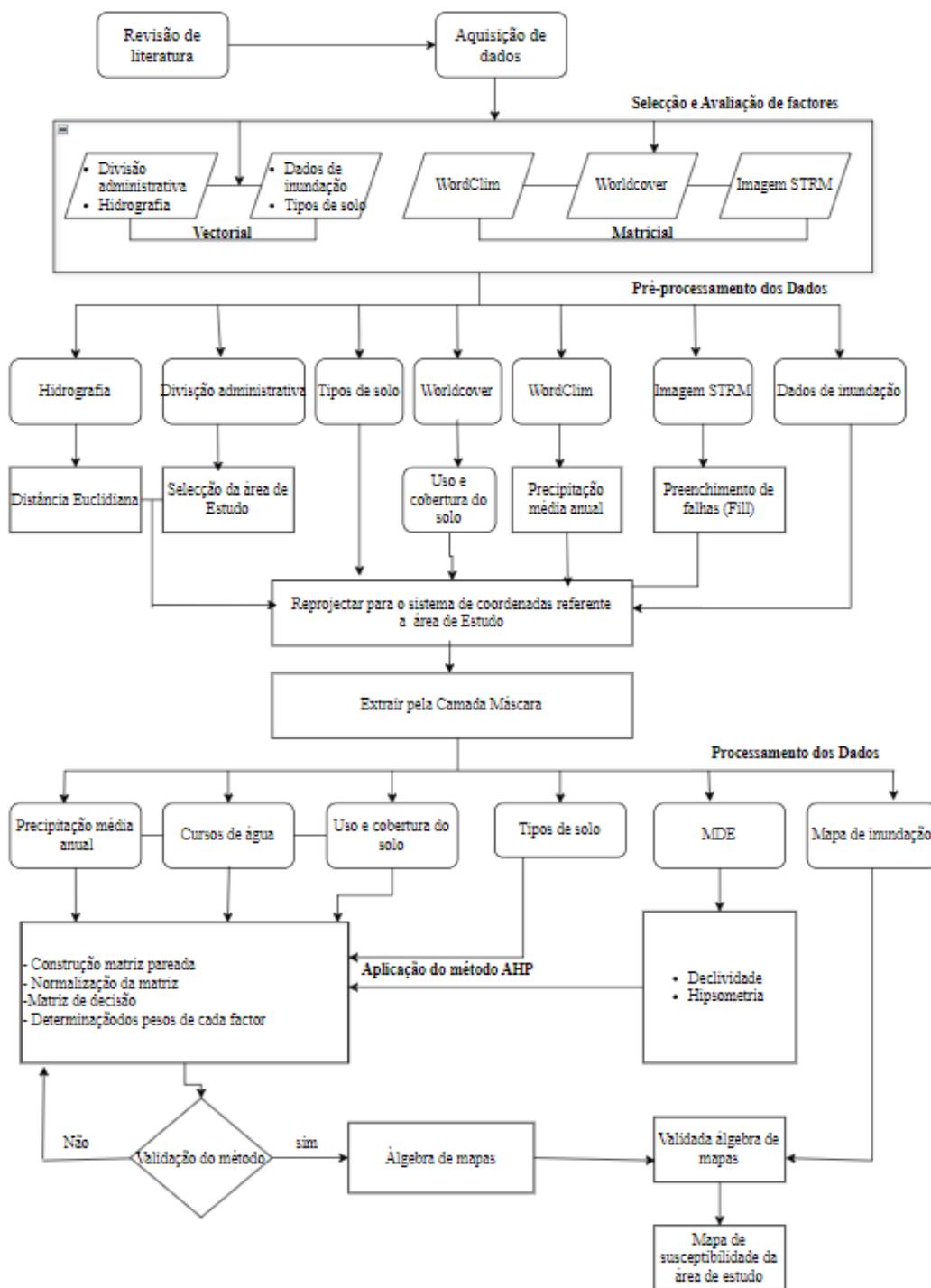


Figura 7: Fluxograma metodológico

3.2.1 Selecção e Avaliação dos factores

Não existindo uma regra específica para determinar quantos factores (condicionantes) são suficientes na análise de susceptibilidade a inundações, o presente estudo baseou-se em pesquisas já realizadas, no formulário preenchido pelos residentes do distrito de Marracuene e na disponibilidade de dados

para construir sua análise sobre quais factores condicionam a suscetibilidade no distrito de Marracuene. A seguir, são apresentados os factores (condicionantes) utilizados no presente estudo: precipitação média anual, cursos de água, hipsometria, declividade, tipo de solo e tipo de uso e cobertura do solo.

3.2.2 Pré-processamento dos dados

A fase de pré-processamento dos dados consiste na preparação e padronização das informações antes da análise propriamente dita e é a fase posterior a revisão bibliográfica. Essa etapa garante que os dados estejam no formato adequado, compatíveis entre si e prontos para serem processados. Essa etapa é crucial para garantir que os dados estejam no mesmo formato, resolução e sistema de referência, facilitando a integração e análise. No presente estudo, essa fase incluiu: reprojectar, Corte, recorte, Modelo Digital de Elevação e Cálculos das distâncias dos cursos de água.

- **Reprojeção** - todos os dados espaciais foram convertidos para um mesmo sistema de coordenadas, garantindo compatibilidade e precisão nos cálculos espaciais. Isso foi essencial para evitar distorções nas análises e assegurar que todas as camadas estivessem alinhadas corretamente.
- **Corte e Recorte** - os dados foram ajustados para abranger apenas a área de estudo, eliminando informações desnecessárias e reduzindo o volume de processamento. O corte foi aplicado a camadas raster, enquanto o recorte foi utilizado para dados vetoriais, garantindo que apenas os elementos dentro da região de interesse fossem considerados.
- **Modelo Digital de Elevação** - A partir do MDE, foram extraídas informações fundamentais para a análise, como altitude (Hipsometria) e declividade do terreno. O Modelo digital de elevação usado no estudo é do sensor STRM, tem uma resolução espacial de 30 m. A actividade a seguir foi o preenchimento de falhas no MDE, através da ferramenta (Fill).

3.2.3 Reclassificação dos factores

Dentro de um ambiente SIG uma das formas de se realizar uma análise multicritério é através da álgebra de mapas. Para isso, inicialmente foi necessário atribuir novos valores para cada classe dos factores escolhidos. A metodologia utilizada neste trabalho para a reclassificação das variáveis foi adaptada da proposta por Ross (1994), que definiu uma hierarquia de acordo com o grau de vulnerabilidade para cada classe de cada variável, de forma que quanto maior o valor atribuído à classe, maior o grau. Sendo o grau 1 (muito baixo), grau 2 (baixo), grau 3 (moderado), grau 4 (elevado) e grau 5 (muito elevado). Conforme a tabela 12.

Tabela 12: Reclassificação dos factores

Factores		
Precipitação Média Anual	Classes	Grau de Suceptibilidade
	100 – 190	1
	190 – 380	2
	380 – 520	3
Cursos de água	0 – 1400	5
	1400 – 2800	4
	2800 – 4200	3
	4200 – 5600	2
	>5600	1
Declividade (%)	0 – 3	5
	3 – 6	4
	6 – 9	3
	9 – 15	2
	>15	1
Hipsometria (m)	-15 – 15	5
	15 – 30	4
	30 – 45	3
	45 – 60	2
	60 – 90	1
Uso e cobertura do Solo	Vegetação densa	1
	Matagal	2
	Área agrícola e área de pastagem	3
	Área urbana e solo exposto	4
	Curso de água, áreas húmidas e Mangal	5
Tipos de solo	Terraços	2
	Aluvionares	4

3.2.3.1 Precipitação Média Anual

Chuvas intensas são uma das principais causas de inundações. As inundações ocorrem maioritariamente devido a esse tipo de chuvas, quando os cursos naturais de água não têm a capacidade de escoar o excesso de água. Os níveis de água nos rios ou lagos sobe devido às fortes chuvas, quando esse nível sobe acima das margens de rios ou barragens, a água transborda para as áreas adjacentes aos rios, lagos ou represas, causando inundações (Prochmann, 2014).

A precipitação no Distrito de Marracuene é mais intensa na época chuvosa que vai de Novembro a Março. A precipitação média anual para o Distrito de Marracuene varia de 100 a 300mm. Os dados da Precipitação média anual foram obtidos no WorldClim e são referentes ao período de 1970 a 2000, apresentam uma resolução espacial de 30 segundos. De acordo com estes dados e baseando-se em um estudo feito por Maziva (2015), é possível verificar que precipitação proporciona susceptibilidade de inundação relativamente baixa.

A precipitação é um dos principais factores que contribuem para a ocorrência de inundações, pois quando chove intensamente ou por longos períodos, o solo pode saturar e não absorver mais água, gerando escoamento superficial. Esse excesso de água corre para rios e sistemas de drenagem, que, se não tiverem capacidade suficiente, transbordam e provocam inundações. A impermeabilização do solo nas áreas urbanas agrava o problema, pois impede a infiltração da água. A urbanização desordenada, o desmatamento e o relevo acidentado também aumentam a velocidade e o volume do escoamento. Regiões planas próximas a rios são especialmente vulneráveis. Eventos extremos têm se tornado mais frequentes com as mudanças climáticas

A maior parte do Distrito de Marracuene apresenta precipitação baixa a moderada. As zonas próximas ao rio e áreas costeiras (como Macaneta) apresentam precipitação ligeiramente mais elevada. A maior precipitação próxima à costa pode estar associada à influência do Oceano Índico, que promove maior umidade e chuvas. As zonas próximas ao rio Incomáti podem contribuir para microclimas mais úmidos localmente.

Áreas com maior precipitação podem estar mais expostas a inundações, especialmente se houver baixa declividade e Erosão do solo enquanto que as áreas com precipitação mais baixa podem apresentar maior vulnerabilidade à seca e conseqüentemente menor disponibilidade de água para agricultura.

3.2.3.2 Cursos de água

A rede de drenagem ou cursos de água consiste em sistemas de canal de águas residuais, sistemas de águas pluviais e sistema geral (Gigovic et al., 2017). Um factor importante na inundação de terras adjacentes é a distância do rio. Particularmente, a área próxima aos rios é mais propensa a inundações, pois a água flui de altitudes mais altas e se acumula em elevações mais baixas, principalmente durante chuvas fortes. Além disso, os terrenos próximos aos corpos d'água são em sua maioria planos (Waqas et al., 2021). O transbordamento dos rios é uma das principais causas para o início das nundações. Muitas vezes, as inundações começam no leito do rio ou canal e se expandem na região. Assim, áreas próximas a corpos d'água são áreas de risco muito alto para a ocorrência de inundações, sendo que o efeito desse critério é reduzido com o aumento da distância (Kazakis et al., 2015; Gigovic et al., 2017).

Segundo Cury et al., (2021) ressaltam que os rios de menor ordem proporcionam suscetibilidade de inundação relativamente baixa, quando comparados aos rios de maior ordem. Entretanto, de acordo com (Cunha et al., 2012), todos os cursos de água colaboram para a ocorrência de cheias e inundações, pois o transbordo e consequente alagamento dos terrenos ribeirinhos compõem um processo natural, associado a todos os cursos de água.

Na análise dos dados de cursos de água (rios) foi usado um ficheiro vectorial produzido pela CENACARTA, com a informação dos rios existentes em Moçambique. Desta forma, foi atribuído maior valor aos cursos de água mais próximos dos assentamentos humanos. Para a elaboração do mapa de distâncias á cursos de água, considerou-se a distância mínima de 1400. Os valores de susceptibilidades aumentam linearmente conforme se distanciam dos 1400 m (quanto mais proximo do rio maior e o grau de suceptibilidade).

O distrito tem um grande rio internacional de primeira ordem (que desagua no Oceano Índico) que é o Rio Incomáti que desagua na baía de Maputo. Não tem lagoas costeiras.

Todos os rios secundários apresentam regime sazonal, ou seja, têm água corrente durante a estação das chuvas. O Rio Incomáti é permanente.

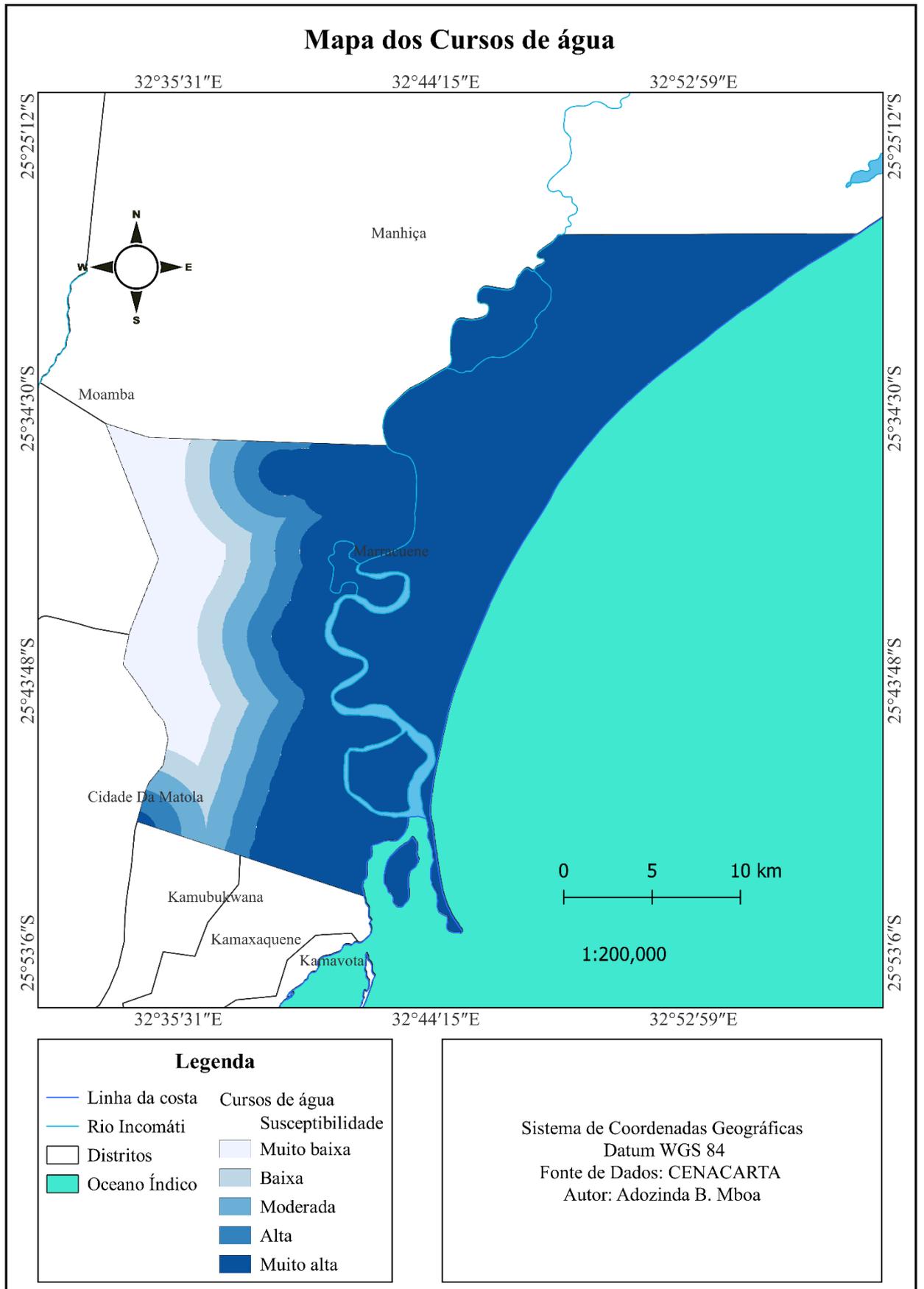


Figura 9: Mapa dos Cursos de água

3.2.3.3 Declive

Reis (2015) atribui as notas 5 e 4 a terrenos planos e suavemente ondulados e atribui as notas 3 a 1 para terrenos ondulados a fortemente ondulados, pois a declividade tem por finalidade evidenciar a distribuição das inclinações da superfície do terreno em relação a um eixo horizontal, consistindo numa variável de significativa importância pois esta influencia directamente no controle do escoamento superficial, onde áreas baixas apresentam-se como mais susceptíveis.

O declive tem um efeito dominante sobre a contribuição das chuvas para o fluxo de água, controlando a direcção do fluxo, infiltração e escoamento superficial. As encostas mais íngremes são mais susceptíveis à erosão, enquanto terrenos planos são susceptíveis a inundação. Os locais com declive menos acentuado são altamente vulneráveis à ocorrência de inundações, em comparação com aqueles de declive acentuado. A chuva ou água excessiva do rio sempre reúne-se em uma área onde o declive é geralmente plano. As áreas com gradientes de alta inclinação não permitem que a água se acumule e resulte em inundações.

Para este estudo o mapa de declive foi elaborado utilizando o Modelo Digital de Elevação (DEM) e ferramentas do programa QGIS. Foram reclassificados e as classes de declive com menos valores foram atribuídos maiores pontuações devido ao terreno quase plano enquanto a classe com valores máximos foi atribuído menor pontuação.

Grande parte do distrito é caracterizada por declividades muito baixas a moderadas, especialmente nas áreas costeiras e nas proximidades do rio Incomáti, onde o relevo é mais plano. Estas áreas são altamente susceptíveis à acumulação de água, devido à baixa capacidade de escoamento natural.

A declividade influencia diretamente o escoamento superficial da água da chuva, áreas planas favorecem a estagnação da água, aumentando a possibilidade de inundações, enquanto áreas inclinadas aceleram o escoamento, podendo causar erosão, mas com menor risco de inundações. No distrito de Marracuene, o predomínio de áreas com relevo plano, aliado à proximidade com cursos água e zonas úmidas, torna o distrito especialmente vulnerável a eventos de inundação, sobretudo durante períodos de chuvas intensas.

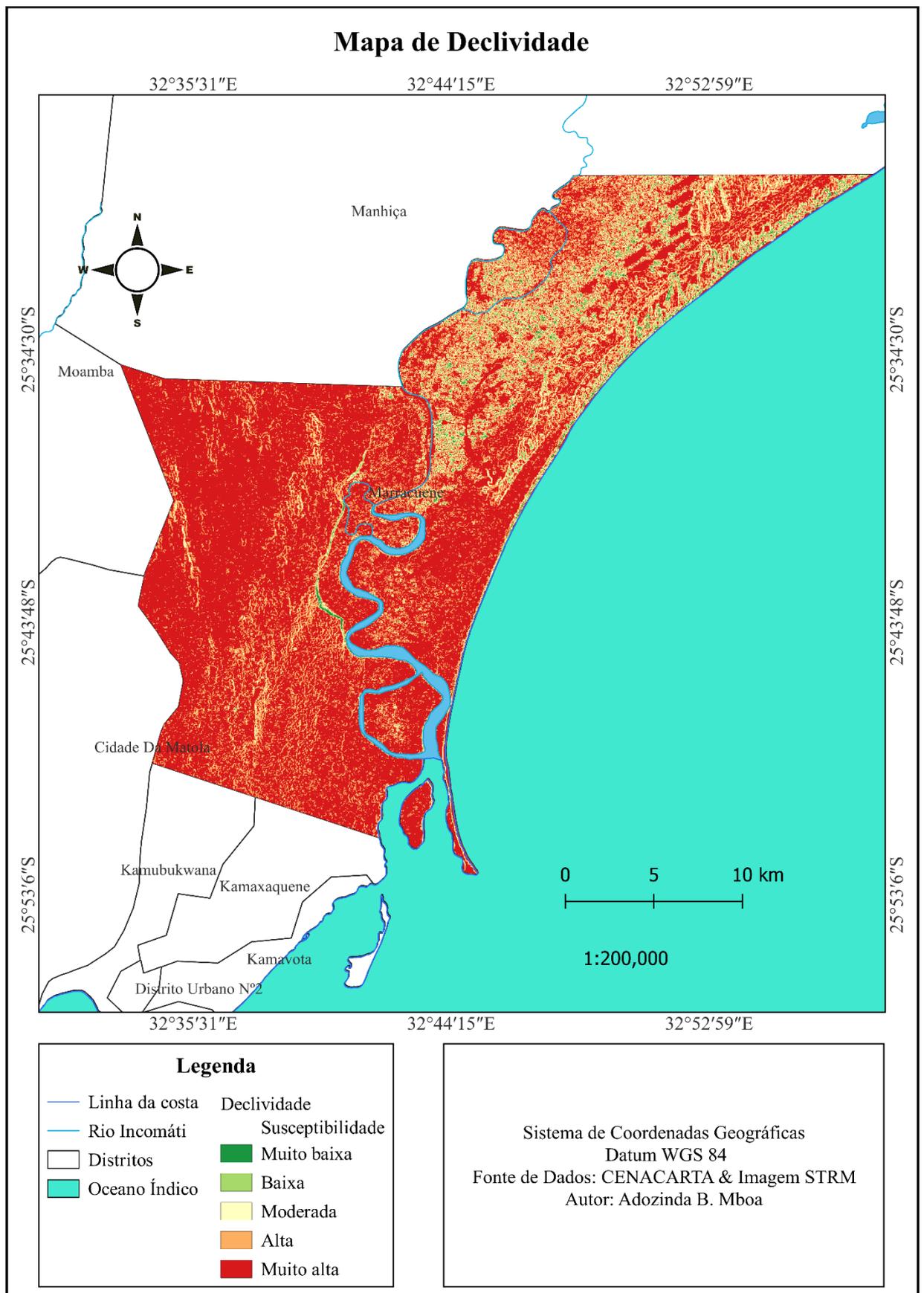


Figura 10: Mapa de Declividade

3.2.3.4 Hipsometria

Segundo Magalhães *et al.*, (2011), a altitude influencia no risco a inundação devido a probabilidade de inundação em áreas mais baixas e também devido a acção da lei de gravidade que direcciona a água para as regiões mais baixas e por isso, quanto mais baixa a zona, mais influência tem na ocorrência de inundações, recomendando a ponderação com valores altos a zonas baixas e valores baixos a zonas altas.

A altitude contribui para as inundações de modo que, quanto maior a altitude, menor é a probabilidade de inundação para uma determinada região, devido à acção da lei de gravidade que direcciona o escoamento para as regiões mais baixas. Assim, as regiões mais baixas possuem uma tendência maior a sofrer com inundações. A altitude contribui significativamente na velocidade do escoamento das águas resultantes da chuva.

O mapa hipsométrico representa a variação da altitude no território de Marracuene, usando cores diferentes para indicar diferentes faixas de elevação. Essas informações são fundamentais para entender a dinâmica do relevo e a sua relação com fenómenos como as inundações. O rio Incomáti, que cruza o Distrito, aumenta ainda mais o risco de inundações nas zonas mais baixas. Quando chove muito nas áreas mais elevadas, o nível do rio sobe, e pode transbordar, inundando áreas próximas aos rios. Por outro lado, as zonas de altitude elevada são menos afetadas por inundações, pois o escoamento da água ocorre com mais rapidez. Essas áreas, no entanto, devem ser analisadas com atenção, pois podem estar sujeitas a erosão do solo, principalmente se tiverem declives acentuados e pouca cobertura vegetal.

E pelo mapa de altimetria (hipsometria) pode-se observar que a área compreendida pelo distrito de Marracuene apresenta um perfil composto por classes altimétricas baixas (-15 a 15) e estas foram ponderadas com valores referentes a altos graus de influência no fenómeno em causa.

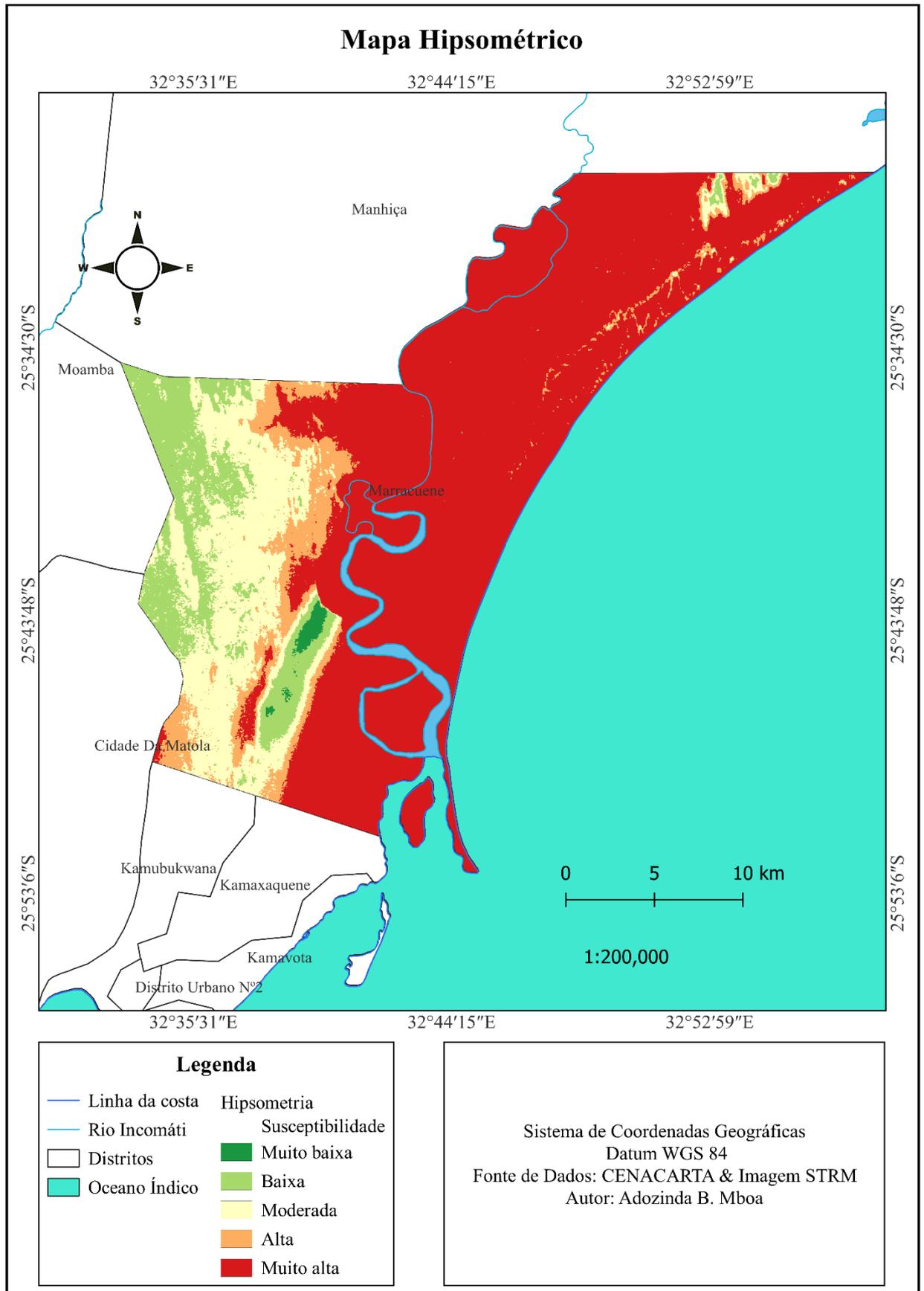


Figura 11: Mapa Hipsometrico

3.2.3.5 Uso e cobertura do solo

As inundações são potencialmente ampliadas pela urbanização especialmente devido à compactação do solo tornando-o impermeável, pois as propriedades hidráulicas são alteradas de acordo com o uso. As formas de uso e cobertura do terra de uma área é também uma das principais preocupações em inundação porque este é um factor que não só reflecte o uso actual da terra, padrão e tipo do seu uso, mas também a importância de seu uso em relação à estabilidade do solo e infiltração. O escoamento da água da chuva é mais provável em áreas sem cobertura vegetal do que com uma boa cobertura vegetal, superfícies impermeáveis, tais como áreas urbanas, onde a taxa de infiltração é muito baixa. O uso como edifícios, estradas, áreas suburbanas, diminui a capacidade de infiltração da água no solo e aumenta o escoamento da água.

O mapa de uso e cobertura do solo, empregado neste trabalho, foi obtido no sítio da ESA GLOBAL e este foi gerado no âmbito do projecto WorldCover, a partir de uma imagem Sentinel 2B.

E para a área de estudo foram geradas 5 classes das quais os maiores graus de suscetibilidade (classe 5) foram atribuídos a cursos de água, áreas húmidas e mangais, por serem zonas naturalmente alagadas ou saturadas, com pouca ou nenhuma capacidade de infiltração adicional.

As áreas urbanas e de solo exposto foram classificadas como elevadas (classe 4), pois possuem superfícies impermeáveis ou pouca cobertura vegetal, favorecendo o escoamento superficial.

As áreas agrícolas e de pastagem foram consideradas de suscetibilidade moderada (classe 3), já que podem infiltrar parte da água, mas ainda apresentam risco devido ao uso do solo ou compactação.

As áreas com matagal receberam uma classificação baixa (classe 2), pois sua vegetação reduz a velocidade da água e favorece a infiltração.

vegetação densa foi considerada a de menor suscetibilidade (classe 1), devido à sua alta capacidade de retenção e infiltração da água, funcionando como uma barreira natural contra inundações.

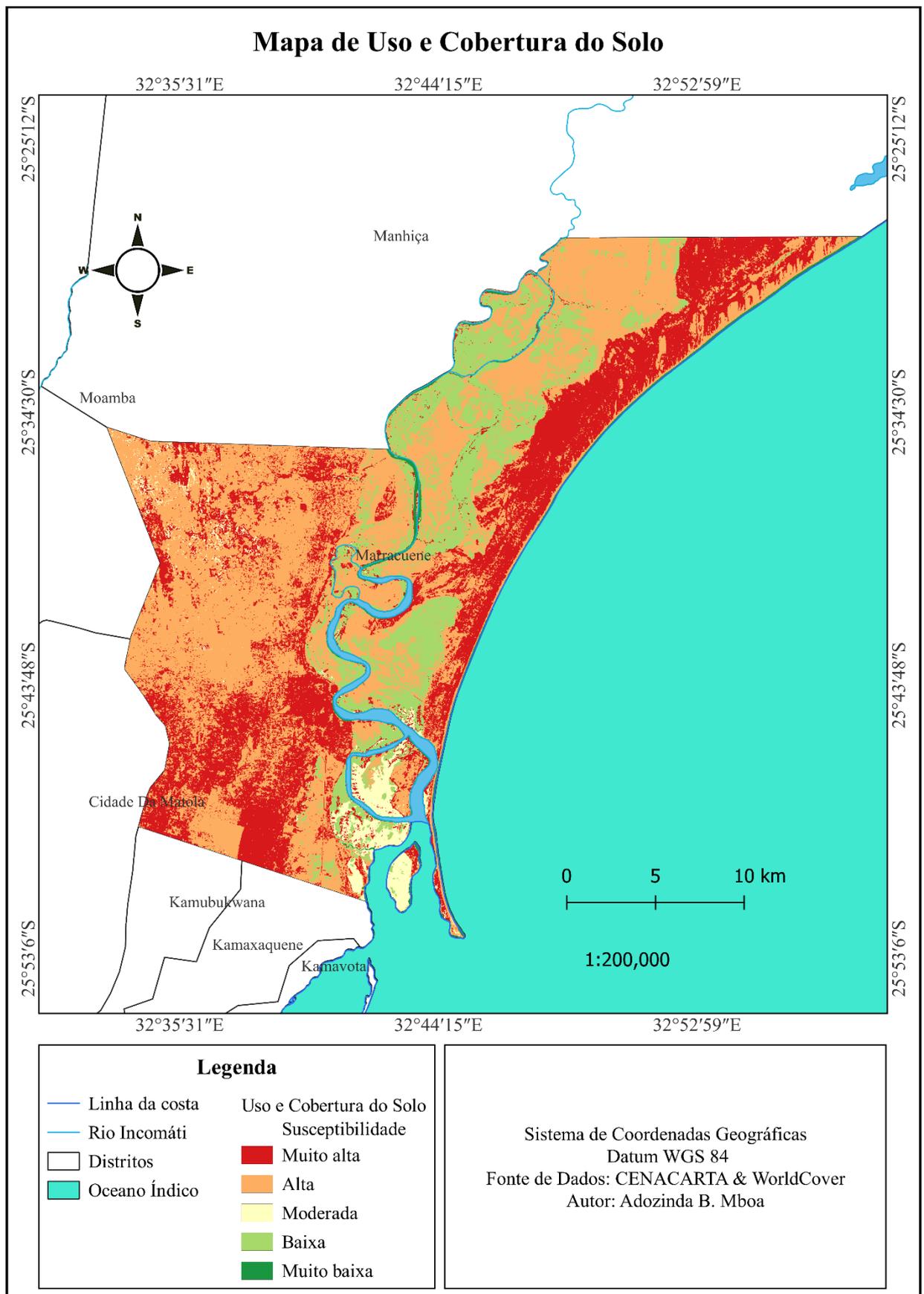


Figura 12: Mapa de Uso e Cobertura do solo

3.2.3.6 Tipos de solo

O tipo do solo reflecte directamente na taxa de infiltração da água na superfície e na capacidade de retenção de água, dependendo de variáveis como a porosidade e compactação características do solo, onde diferentes tipos de solo possuem diferente capacidade, o que resulta em um aumento no escoamento superficial se o mesmo não possuir boa capacidade de infiltração (Magalhães *et al.*, 2011). Para este estudo de caso, o mapa solo foi classificado com base na capacidade de infiltração.

Os solos terraços são formados em áreas ligeiramente elevadas, conhecidas como terraços fluviais, que são antigas planícies de inundação deixadas por rios quando seu leito foi rebaixado com o tempo. Esses solos são comuns em zonas intermediárias, entre o leito atual do rio e áreas de maior altitude. São geralmente bem drenados, com textura arenosa a argilosa, e podem ter boa fertilidade, dependendo do material transportado e depositado ao longo do tempo. Os solos terraços são compostos por depósitos sedimentares acumulados em períodos anteriores de cheia. Como consequência, esses solos podem apresentar uma estratificação visível, com camadas alternadas de areia, silte e argila. No caso do Distrito, os solos de terraço ocorrem nas zonas mais próximas ao curso médio do rio Incomáti, especialmente em áreas que já foram planícies de inundação, mas que, devido ao recuo do leito fluvial, agora estão mais elevadas. Estas áreas oferecem maior estabilidade para agricultura.

Os solos aluvionares são formados por materiais recentemente depositados por rios. Sua formação está diretamente ligada aos processos de transporte e deposição de sedimentos durante enchentes e cheias periódicas. Esses solos são altamente férteis, devido à constante renovação de nutrientes trazidos pelas águas do rio, e são amplamente utilizados para agricultura.

Os solos aluvionares têm alta capacidade de retenção de água porque são formados por sedimentos finos como argila e silte, trazidos pelas águas dos rios durante inundações. Essas partículas pequenas deixam pouco espaço entre si, dificultando a drenagem rápida da água. Além disso, esses solos costumam estar localizados em planícies de inundação (áreas planas e baixas ao longo dos rios) onde a água das chuvas ou do rio acumula com facilidade e escoar com dificuldade.

Essa combinação de textura fina e localização baixa significa que, quando há chuvas intensas ou o rio transborda, a água fica retida por mais tempo, criando condições para inundações. Por outro lado, essa mesma capacidade de reter água e nutrientes favorece o crescimento de plantas, o que os torna produtivos para a agricultura, especialmente culturas que toleram solos úmidos.

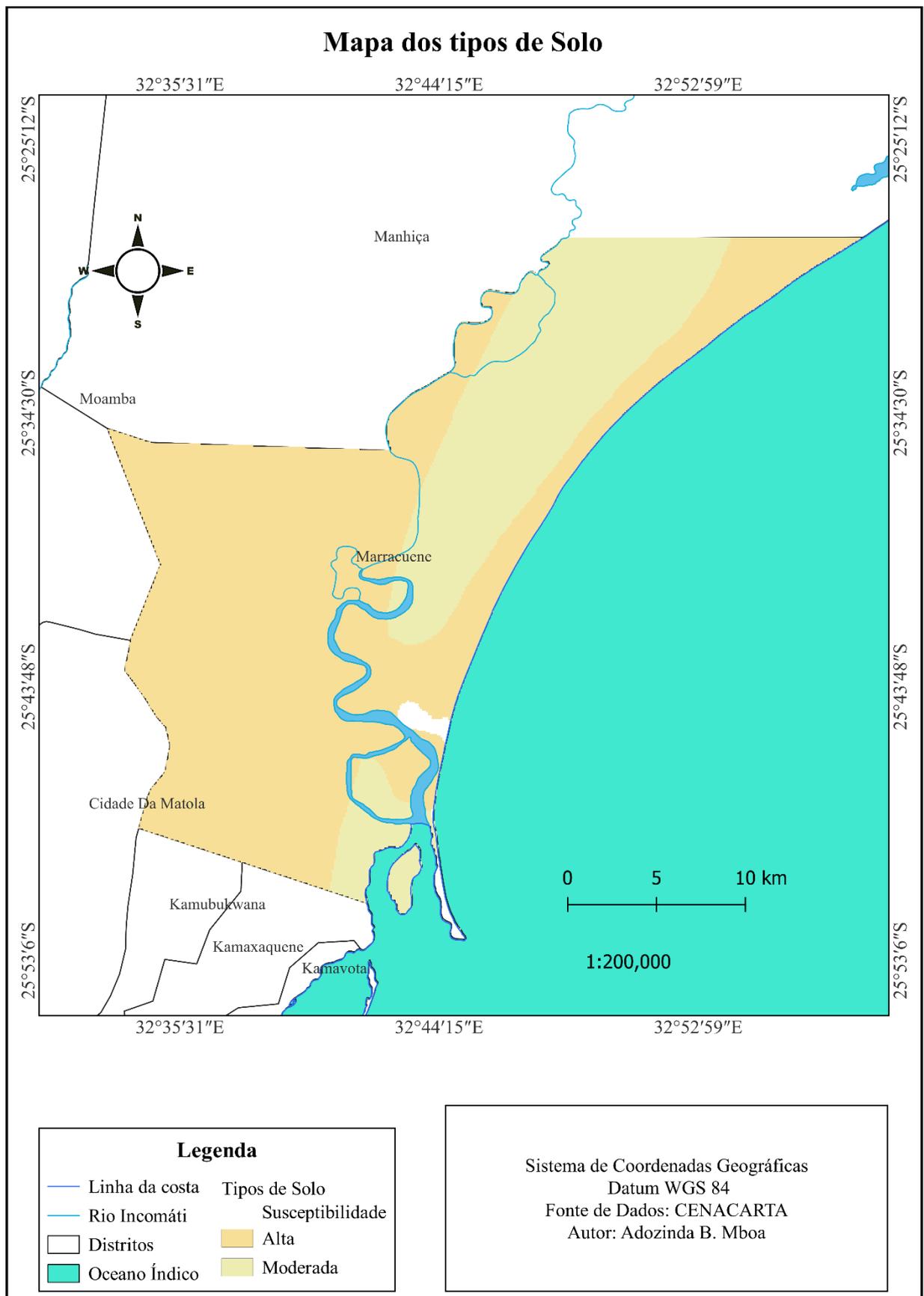


Figura 13: Mapa dos Tipos de solo

3.2.4 Atribuição de pesos às variáveis com uso do método AHP

Para atribuição dos pesos e combinação dos factores, usou-se o método de análise multicritério AHP proposto por Saaty (1977) nos SIG, de acordo com o grau de influência de cada factor no processo de inundações. Foi feita a estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada, priorização das alternativas e definição das classes de susceptibilidade.

Saaty (1991) afirma que hierarquizar trata-se de uma abstracção da estrutura de um sistema, para estudar as interacções funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. Com as escalas de prioridades relativas aos critérios e alternativas, utilizou-se as comparações pareadas, em que os fatores são confrontados entre si por meio de uma matriz de comparação e ajustados de acordo com as características da região. Dessa forma a hierarquização trará uma segurança nos resultados, conforme a importância de cada característica no que diz respeito a inundação, buscando representar de forma precisa as condições físicas encontradas na área de estudo.

Colin (2017) trata o AHP de uma forma prática. O processo de cálculo dos pesos envolve 4 passos:

- a) Preencher a matriz
- b) Calcular a soma de todos os elementos de cada coluna da matriz
- c) Normalizar o valor de cada elemento de uma coluna em relação a sua soma
- d) Calcular o peso de cada fator pela média aritmética dos elementos da respectiva linha

Uma vez preenchida a matriz, parte-se para o cálculo do peso de cada critério.

A primeira etapa do AHP é a matriz de comparação dois a dois de acordo com Saaty (2005), onde os decisores comparam a importância relativa dos critérios e alternativas. As comparações são feitas usando uma escala de julgamento que varia geralmente de 1 a 9 e após calcular a soma de todos os elementos de cada coluna da matriz ultrapassando assim a segunda etapa.

Tabela 13: Matriz de comparação par-a-par

Crítérios	Precipitação	Cursos de água	Declividade	Hipsometria	Uso e cobertura do Solo	Tipo de solo
Precipitação	1	2	3	7	5	9
Cursos de água	0.50	1	5	5	7	7
Declividade	0.33	0.20	1	3	4	6
Hipsometria	0.14	0.20	0.33	1	2	4
Uso e cobertura do Solo	0.20	0.14	0.25	0.50	1	3.00
Tipo de Solo	0.11	0.14	0.17	0.25	0.33	1
Soma	2.28	3.68	9.75	16.75	19.33	30.00

De acordo com a tabela 13, os elementos da diagonal principal apresentam valor 1, porque, representam o peso de um factor em a si mesmo. Os elementos acima desta diagonal, os números inteiros representam os valores de maior peso, o que indica que um determinado elemento é importante em relação ao inverso dos que encontram-se na parte inferior abaixo da diagonal principal.

3.2.4.1 Normalização dos factores

A terceira etapa é a normalização da matriz faz-se a soma de cada coluna da matriz de comparação par a par e divide cada valor da matriz pela soma da sua coluna resultando numa matriz normalizada.

Tabela 14: Matriz normalizada

Crítérios	Precipitação	Cursos de água	Declividade	Hipsometria	Uso e cobertura do Solo	Tipo de solo
Precipitação	0.4386	0.5435	0.3077	0.4179	0.2587	0.3000
Cursos de água	0.2193	0.2717	0.5128	0.2985	0.3621	0.2333
Declividade	0.1447	0.0543	0.1026	0.1791	0.2069	0.2000
Hipsometria	0.0614	0.0543	0.0338	0.0597	0.1035	0.1333
Uso e cobertura do Solo	0.0877	0.0380	0.0256	0.0299	0.0517	0.1000
Tipo de Solo	0.048	0.0380	0.0174	0.0149	0.0171	0.0333
Soma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

3.2.4.2 Determinação dos pesos

Após a elaboração da matriz de decisão (matriz normalizada), foi possível obter o peso para cada factor. Para isto foi necessário realizar a divisão de cada factor pelo somatório dos elementos da coluna a que pertence, em seguida é calculada uma média entre as linhas, obtendo-se, então, os pesos de cada factor. Esse cálculo foi realizado no software Excel (2019).

Tabela 15: Pesos dos factores

Factores	Precipitação	Cursos de água	Declividade	Hipsometria	Uso e cobertura do Solo	Tipo de Solo
Peso (%)	38.1	33	14	7	5.1	2.7
Peso	0.381	0.33	0.14	0.07	0.051	0.027

3.2.4.3 Verificação da consistência

O máximo auto vetor (6.426) , é calculado através da multiplicação dos resultados do somatório da matriz pelo auto vetor dividido por número de critérios. Depois de determinar o autovetor, é Calculado o Índice de consistência (IC), onde n representa a ordem da matriz:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{6.426 - 6}{6 - 1} = \frac{0.426}{5} = 0.0852$$

A eficácia do método AHP depende do julgamento de seus aplicadores, onde tomada de decisões equivocadas podem comprometer o estudo. A razão de consistência (Consistency Ratio-CR), a qual indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso. Segundo Saaty (1987), quanto mais próximo os resultados forem de zero, maior será a coerência dos pesos. A razão de consistência deve ser menor do que 0.1 (10%).

A fim de garantir a consistência dos pesos aplicados para cada factor utilizamos a equação 2 (razão de Consistência), determinada por Saaty, 1991.

O Índice de Consistência Randômico (IR) é obtido a partir de uma matriz recíproca de ordem n (corresponde ao número de fatores), com elementos não-negativos gerados aleatoriamente, (Trevizano; Freitas, 2005).

Achado o IC, posteriormente é calcular a razão de consistência da seguinte maneira: IR=1.24

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0.0852}{1.24} = 0.0687$$

O valor da Razão de Consistência (RC) se demonstrou satisfatório (RC=0,0687), seguindo os critérios proposto por Saaty, que determina que para o modelo ser aceito é necessário $RC < 0,1$.

3.2.4.4 Álgebra de Mapas

Depois de verificada a consistência do método, a etapa assegurar foi a combinação dos factores que culminou com a identificação das áreas de susceptibilidade às inundações. Onde faz-se multiplicação do peso de cada factor com o respectivo mapa do factor (reclassificado), com auxílio da ferramenta Raster calculator do software QGIS versão 3.22.1 conforme a seguinte equação 3 :

(Equação 3)

$$S = ((\text{Precipitação} * 0.381) + (\text{Cursos de água} * 0.33) + (\text{Declividade} * 0.14) + (\text{Hipsometria} * 0.07) + (\text{Uso e cobertura solo} * 0.051) + (\text{Tipo de solo} * 0.027))$$

Onde: S – Áreas susceptíveis às inundações.

Resultados e Discussão

Este capítulo é reservado para apresentação e análise dos resultados obtidos durante todo o processo de elaboração desta pesquisa.

4.1 Mapa de Susceptibilidade às inundações

O mapa da susceptibilidade às inundações foi obtido por meio do cruzamento dos mapas reclassificados. O cruzamento dos mapas foi realizado com base na equação 3. Com vista dar uma melhor apresentação dos resultados, foram calculadas as áreas e os respectivos percentuais de cinco (5) diferentes categorias da susceptibilidade a inundações.

O mapa revela áreas com muito baixa susceptibilidade a inundações no Distrito de Marracuene, destacadas em verde escuro. Essas zonas estão em altitudes de 60–90 m, com solos aluvionares, que tem formações típicas de áreas próximas dos cursos de água. Apresentam vegetação escassa e habitações dispersas. Nesta situação encontramos a localidade de Mahuana.

As áreas de baixa susceptibilidade a inundações estão em altitudes entre 45–60 m e são marcadas pela cor verde-claro. Possuem solos aluvionares formados por sedimentos fluviais, cuja drenagem varia com a composição granulométrica (proporção entre areia, silte e argila). A vegetação predominante são matagais, estão a mais de 4200 m dos rios. Ngalundi, Checua e Matalane são localidades nessas condições.

As regiões com potencial moderado às inundações estão representadas por uma cor Amarelo-alaranjado claro e apresentam altitudes que variam entre 30-45 m. Encontram-se a uma distância superior a 2800 m dos cursos de água. Os solos terraços constituem os tipos de solos encontrados nessa região. E quanto ao uso e ocupação do solo, predominam a áreas de pastagem e área agrícola. E nessa situação temos as localidades de Macaneta, Michafuten e Thaula.

As áreas com susceptibilidade relativamente elevada (cor laranja) situam-se entre 15–30 m de altitude, a 1400–2800 m dos rios, com uso predominante urbano e solo exposto, como em Machubo e Marracuene Sede. Já as zonas de muito alta susceptibilidade (vermelho) apresentam altitudes entre -15 e 15 m, baixa declividade (0–3%) e estão a menos de 1400 m dos cursos de água. Nelas predominam solos aluvionares com drenagem deficiente e ocupação urbana, como nas localidades da Vila de Marracuene e parte de Machubo. O mapa da susceptibilidade é apresentado a seguir:

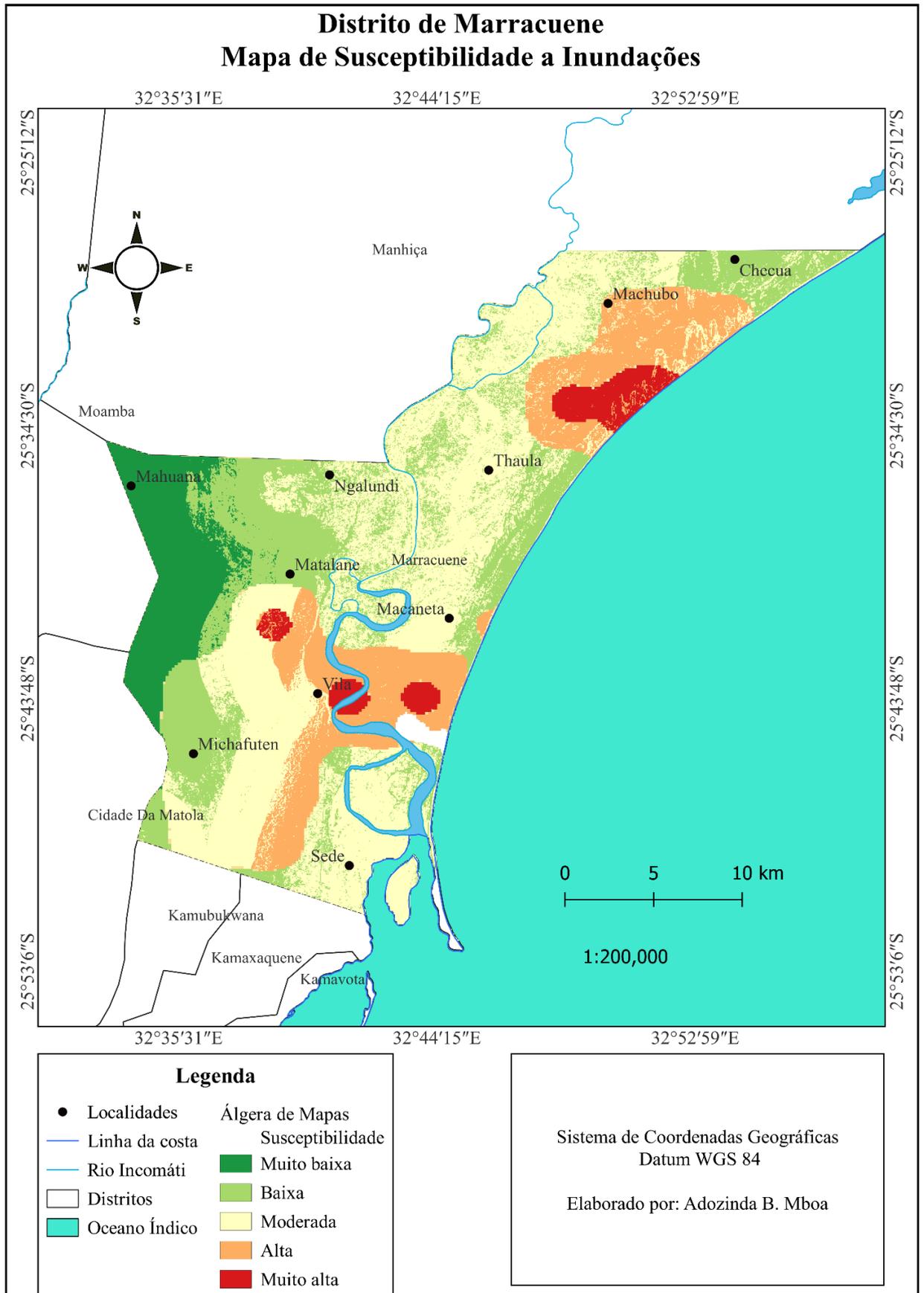


Figura 14: Mapa de Susceptibilidade a inundações no Distrito de Marracuene

A classe que representa um potencial de susceptibilidade muito baixo às inundações, é a que apresenta uma abrangência espacial (área), correspondendo a 10.58% do Distrito de Marracuene. E a classe que representa uma susceptibilidade elevada a inundações, apresenta a menor abrangência espacial, correspondendo a 3.65% do Distrito de Marracuene .

Tabela 16: Tabela das áreas ocupada por cada classe de susceptibilidade às inundações no Distrito de Marracuene.

Indicador	Área (Km²)	Percentagem (%)
Muito baixa	72.798	10.58
Baixa	165.394	24.04
Moderada	309.859	45.03
Alta	114.887	16.7
Muito alta	25.139	3.65
Total	688.077	100

4.1.1 Validação dos resultados

Segundo (Longley *et al* 2015), a validação é uma etapa essencial para assegurar que os modelos espaciais reflitam adequadamente a realidade observada e possam ser utilizados com confiança para fins de planejamento e tomada de decisão". Essa etapa é particularmente importante em estudos de suscetibilidade a inundações, onde os modelos gerados precisam ser comparados com ocorrências reais para aferir sua eficácia, assim sendo por meio da comparação entre os dados gerados e informações reais ou de referência, como dados de campo ou registros históricos.

A Copernicus é o programa de observação da Terra da União Europeia, coordenado pela Comissão Europeia em parceria com a Agência Espacial Europeia (ESA), com o objetivo de fornecer dados e serviços de monitoramento ambiental de forma gratuita, aberta e contínua.

A validação dos resultados na área de estudo foi realizada por meio da sobreposição dos dados vetoriais obtidos a partir do programa Copernicus, referentes ao ano de 2023. Durante esse ano, Moçambique foi severamente atingido por chuvas intensas, particularmente entre os meses de janeiro e março. Os dados vetoriais utilizados derivados de imagens do satélite Sentinel-1 com uma resolução de 10 metros e disponibilizados em formato shapefile representam a extensão da superfície de água mapeada durante os eventos de inundação. A análise espacial desses dados permitiu identificar com precisão as áreas urbanas efetivamente inundadas no distrito de Marracuene. No mapa abaixo, essas áreas estão representadas na cor azul-escuro, evidenciando os locais com maior impacto das inundações.

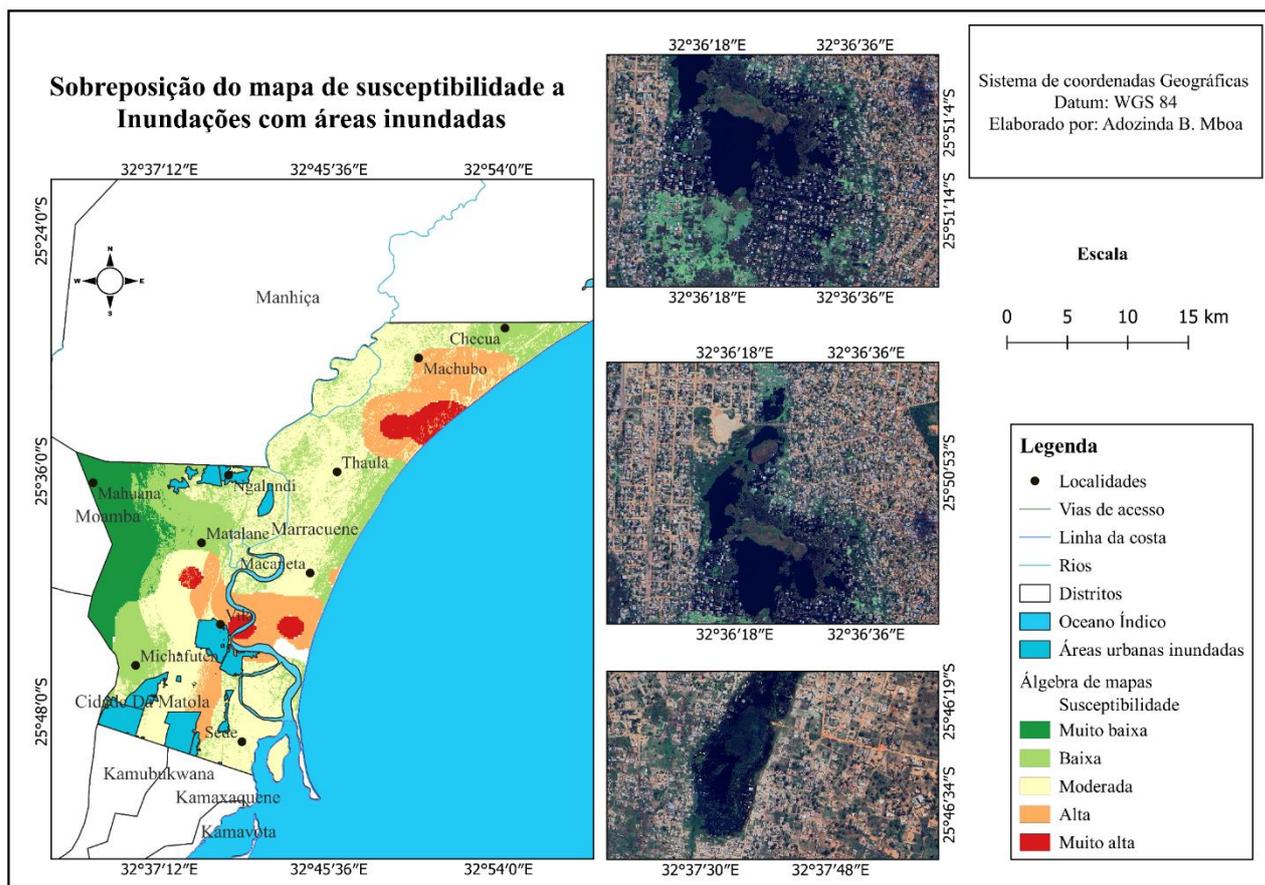


Figura 15: Mapa de validação dos resultados

A análise da sobreposição espacial revelou que as inundações registadas em 2023 ocorreram, em sua maioria, em zonas classificadas como de suscetibilidade **moderada** e **alta**, o que evidencia uma boa correspondência entre o modelo preditivo utilizado e os eventos reais de inundação. Ressalta-se que as áreas identificadas como inundadas pela plataforma Copernicus correspondem, em grande parte, a zonas urbanas, onde se verifica maior concentração da população.

Adicionalmente, observou-se que áreas pertencentes à localidade de Michafutene, nomeadamente o bairro de Ricatla, assim como partes da localidade de Marracuene Sede e da Vila de Marracuene, registaram ocorrência de inundações mesmo estando inseridas em zonas de suscetibilidade **moderada**. Tal situação pode estar associada a factores como infraestruturas de drenagem insuficientes, crescimento urbano desordenado ou saturação do solo devido à impermeabilização crescente. Importa ainda referir que as áreas classificadas como de suscetibilidade **muito alta** no distrito de Marracuene correspondem, na sua maioria, a zonas não residenciais, representando apenas **3,65%** da área total do distrito.

Cerca de 34.62% do território do Distrito apresenta uma susceptibilidade baixa a inundações. E 45.03% do território do Distrito tem um potencial moderado a susceptibilidade de inundações. Estes dados indicam que o modelo foi eficaz em prever os locais de maior risco de inundação.

Conclusões e Recomendações

Neste capítulo, apresentam-se as principais conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento deste estudo, avaliando o cumprimento dos objetivos propostos e destacando os resultados mais relevantes. Além disso, foram elaboradas recomendações práticas destinadas a orientar ações futuras.

5.1 Conclusão

Dentre as técnicas disponíveis para avaliação da inundação, o referido trabalho apresentou uma metodologia que se utilizou de um SIG. O uso dos recursos do SIG destacou-se como uma ferramenta eficaz para o desenvolvimento da pesquisa, visto que, através dele foi possível obter mapas, assim como manipular, sobrepor variáveis, analisar e apresentar um mapa de susceptibilidade como produto final.

A análise multicritério permitiu a investigação combinada de variáveis, e associada com as ferramentas de processamento (QGIS), permitiu caracterizar, agrupar e classificar áreas que apresentaram potencial de inundação semelhante, e dessa forma, possibilitar análises comparativas diversas, proporcionando uma visualização menos complexa da realidade.

O uso do método AHP, por sua vez, proporcionou uma análise mais robusta, ao elencar pesos atribuídos às variáveis. Assim, a sua incorporação na análise proporcionou uma maior efetividade na ponderação das variáveis na álgebra de mapas, havendo um melhor ajustamento da importância das variáveis do Distrito em questão, assim sendo destaca-se a eficácia do método AHP. Sua versatilidade permite resultados consistentes mesmo em áreas remotas de difícil acesso, substituindo, em muitos casos, a necessidade de visitas de campo. Dessa forma, o método se mostra valioso na estruturação de problemas complexos e no apoio à tomada de decisões por parte dos gestores públicos.

A utilização do método AHP proposta para a determinação de pesos dos factores, considerados influentes na delimitação de áreas susceptíveis a inundações, se mostrou eficaz, uma vez que a razão de consistência encontrada foi de 0,0687.

O factor precipitação e cursos de água revelaram-se o mais significantes na identificação das áreas susceptíveis às inundações dentre todos os factores analisados naquele Distrito, já que as regiões próximas aos cursos de água apresentam maior susceptibilidade a inundações e áreas urbanas não possuem um sistema para a drenagem das águas da chuva.

Os resultados obtidos demonstram que há diferenças significativas no grau de susceptibilidade às inundações dentro do Distrito de Marracuene. Cerca de 34.62% do território do Distrito apresenta uma susceptibilidade baixa a inundações. E 45.03% do território do Distrito tem um potencial moderado a susceptibilidade a inundações o que indica uma tendência intermediária de ocorrência de inundações.

5.2 Recomendações

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se destaca como um recurso fundamental no apoio à gestão pública, pois possibilita a espacialização de diferentes planos de informação e facilita a interpretação dos resultados, especialmente por meio da sobreposição de mapas temáticos, o que contribui diretamente para a tomada de decisões ambientais e territoriais. No entanto, ressalta-se que as técnicas de geoprocessamento apresentam limitações, sendo imprescindível uma seleção criteriosa conforme os objetivos específicos de cada estudo.

Recomenda-se a aplicação de técnicas de geoprocessamento no estudo de áreas susceptíveis a inundações, uma vez que essas ferramentas permitem a delimitação precisa das zonas de risco e auxiliam na elaboração de estratégias eficazes de mitigação. A implementação de obras de drenagem urbana constitui uma medida essencial para minimizar os impactos decorrentes da precipitação, mas essas ações devem ser sempre precedidas por um diagnóstico espacial detalhado. Assim sendo os resultados obtidos nesta pesquisa devem ser utilizados como subsídios para a formulação de projetos de saneamento, planos ambientais e iniciativas de ordenamento territorial, contribuindo para o aprimoramento da qualidade documental e da análise de medidas mitigadoras. Além disso, recomenda-se a realização de novos mapeamentos de áreas susceptíveis a inundações, em cooperação com as entidades municipais, como forma de sinalizar e alertar as populações residentes em zonas de risco.

Referências Bibliográficas

- Armindo Adalberto, 2022. Geografia de Mocambique 1. Beira s/d.
- Agência de Informação de Moçambique (AIM). Marracuene com de quatro mil processos judiciais em 2022. <https://aimnews.org/2023/11/28/marracuene>
- Barbosa 2006. Caracterização Geomorfológica com apoio de índices morfométricos: O estudo de caso da bacia do rio Guruji. Cadernos do Logepa, João Pessoa, v. 6, n. 1, p.1-14, jul. 2006.
- Beltrão et al., 2021. Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) dans l’environnement SIG: thèmes et applications retour à la prise de décision en utilisant des critères spatiaux.
- Bie, A. J. (2022). Ciclones tropicais no Sudoeste do Oceano Índico: representação em reanálises atmosféricas e experimentos de sensibilidade com modelo regional acoplado [Universidade de São Paulo]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-31052022093032/publico/t_alberto_j_bie_corrigida.pdf
- Bornia, Antonio Cezar; Werke, Rodney. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. Revista Contabilidade & Finanças. FIPECAPAPI – FEA – USP. v.14, n. 25, p. 60-71, jan./abr. 2001.
- Bueno, Wagner Pietrobelli. O uso da abordagem fuzzy-AHP e fuzzy sets para facilitar a utilização da filosofia lean manufacturing em indústrias. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- Burrough, P. A. e Mcdonell, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.
- Cabrera, J. S.; Lee, H. S. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines. Water, v. 11, p. 1-23, 2019.
- Catarina Ramos ,2022; Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e Inundações.
- Cury, M. D., Ladwig, N. I., Menegasso, J. D., Sutil, T., e Conto, D. d. (Outubro de 2021). Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão

territorial em bacia hidrográfica. Caminhos de Geografia, 22(83), 160–175. doi: <http://doi.org/10.14393/RCG228356231>

Carvalho, J, C; Sales, M, M; Sousa, N, M; Melo, M, S, T (Organizadores). Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro. 1 ed. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464 p.

Colin, Emerson C. Pesquisa Operacional – 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas, 2ª edição. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788597014488.

Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597014488/>>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.

Costa, Helder Gomes. Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: H.G.C., 2002. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>> Acesso em: 18 de novembro de 2023

Cunha, L., Leal, C., Tavares, A., e Santos, P. (2012). Novas, Risco De Inundação No Município De Torres Novas (Portugal). REVISTA GEONORTE, 1(4), 961 – 973.

Damasco et al., 2014. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. Water, v. 615, n. 11, p. 1-28, 2014.

Elorza 2008. Aplicação da Análise Hierárquica para mapeamento de risco de inundação: O caso no município de Limoeiro (Pernambuco-Brasil). Meio Ambiente (Brasil), v. 2, n. 1, 2008.

Fernandez, D. S.; Lutz, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology, n. 1, p. 90-98, 2010.

Ferreira, Robson Soares. Et al. Deslizamentos De Terra E Rocha: Impactos Ambientais E Sociais, Como Prevenir. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 04, pp. 94-101 Abril de 2019. ISSN: 2448-0959

Garcia, R, A, C; Zêrere, J, L. Avaliação de riscos geomorfológicos: conceitos, terminologia e métodos de análise. In: Seminário Recursos Geológicos, III, Vila Real, 2013. Ambiente e Ordenamento do Território. Vila Real: Livro de Actas, 2013. p.

Gigovic, L et al. Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. Water, v. 9, p. 1-26, 2017.

Goerl, R. F.; Kobiyama, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais...Porto Alegre, ABRH, 2005.

Gonçalves, 2003 citado por Felizardo, 2016. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. Revista Brasileira de Geografia Física, n. 1, p. 124-138, 2016.

Geoaplicada, 2023. [O que são os Sistemas de Informação Geográfica \(SIG\) e quais suas aplicações - Geoaplicada](#).

Governo de Moçambique, Perfil do Distrito de Marracuene. Ministério da Administração Estatal. Direcção Nacional de Administração Local. Maputo: MAE, 2005.

Haghizadeh, A. et al. Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model. J. Earth Syst. Sci, v. 126, n. 39, p. 1-11, 2017.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1:25.000 (livro eletrônico):nota técnica explicativa/coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF. CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2014.

Instituto Nacional de Estatística. (2019). Anuário Estatístico da Cidade de Maputo – 2019. Instituto Nacional de Estatística de Moçambique. Disponível em: https://www.ine.gov.mz/estat%C3%ADsticas/-/document_library/pfpz/view/195737

Instituto Nacional de Estatística (INE). Estatísticas do Distrito de Marracuene 2019 – 2023, Maputo: 2024. Disponível em: https://ine.gov.mz/documents/20119/271103/Marracuene_Junho2024.pdf

IPCC. (2022). Summary for Policymakers: Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In R. Adrian, M. Craig, F. Degvold, K. L. Ebi, K. Frieler, A. Jamshed, J. McMillan, R. Mechler, M. New, N. Simpson, & N. Stevens (Eds.), Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf IPCC.

Julião, R. P; Nery, F; Ribeiro, J. L; Branco, M. C; Zêrere, J. L. 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. 93 p. 2009.

Kamer, L. (2022). Extreme Poverty Rate in Mozambique 2016-2025. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1243825/extreme-poverty-rate-in-mozambique/>

Kazakis, N.; Kougias, L; Patsialis, T. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. Science of the Total Environment, v. 538, p. 555-563, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>

Jornal Notícias, 2024. <https://jornalnoticias.co.mz/2024/01/05/rios-incomati-e-maputo-prestes-a-transbordar/>.

Jerônimo, T. de B.; Melo, F. J. C.; Aquino, J. T. de. Análise da implementação do modelo multicritério de decisão: como o gestor observa a importância da decisão racional. Exacta – EP, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 319- 334, 2016. Disponível em:

<<https://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exacta&page=article&op=view&path%5B%5D=6409>>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

June.A.C. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2013). Review of the 2013 Mozambique Floods: IFRC-led Shelter Cluster. <https://adore.ifrc.org/Download.aspx?.pdf=&FileId=51157>

Lasse, N. H. (2023). Vulnerabilidade da agricultura familiar à intrusão salina na bacia hidrográfica do Limpopo. Universidade Eduardo Mondlane

Lima, L. M. M. 2010. 174 p. Mapeamento da Suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio Salso, Porto Alegre – RS. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2010.

Lima Junior, F.R.; Carpinetti, L.C.R.(2015); Uma comparação entre os métodos. TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. Gestão & Produção, São Carlos, v.22, n.1, p 17-34, 2015.

Lourenço e Nunes (2022) . Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, n. 20, p. 183-199, 2022.

Longley, P. A. (2015). Geographic Information Systems and Science. 4th Edition. Wiley.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhind, D. W. *Geographic Information Science and Systems*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015

Lawhead, J. (2023). Learning Geospatial Analysis with Python - Fourth Edition.

Mariappan, S.; Roslee, R.; Sharir, K. Flood Susceptibility Analysis (FSAn) Using Multi-Criteria Evaluation (MCE) Technique for Landuse Planning: A Case from Penampang, Sabah, Malaysia. Journal of Physics: Conference Series, v. 1358, p. 1-15, 2019.

Maziva, L. d. (2015). Identificação das Áreas de Risco de Cheia na Bacia do Rio Limpopo, Moçambique, com Recurso a Sistemas de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado, Universidade De Trás-Os-Montes E Alto Douro, Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista , Vila Real.

MOPHRH, Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos. (2020). Guião Metodológico para Elaboração de Planos de Mitigação de Riscos: Drenagem, Enchentes e Erosão.

Moreira, M. (2012). Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. UFV

Magalhães, I. A. L.; et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. Cadernos de Geociências, v. 8, n. 2, nov. 2011, p. 63-70.

- Marchezetti, A.L.; Kaviski, E.; Braga, M.C.B (2011). Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011
- Medeiros, 2013. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. Pesquisas Agrárias e Ambientais , 8(1), 81-90. doi: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8130>
- Miranda, A.; Nemery (2020); P. Multi-Criteria Decision Analysis: methods and software. Wiley, 2020.
- Muller, 2023. Variação da Suscetibilidade e Vulnerabilidade à ação de perigos costeiros na praia dos ingleses (Florianópolis-SC). ABEQUA, Rio de Janeiro 2023.
- Nachappaa, T. G. et al. Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. Journal of Hydrology, v. 590, p. 1-17, 2020.
- Nandi, A.; Wilson, A. M. M.; Smith, D. Flood hazard mapping in Jamaica using principal component analysis and logistic regression. Environ Earth Sci, v. 75, n. 465, 2016.
- Neves, G. R., G. A., e Lucato, W. C. (Jan/Mar de 2022). Aplicação e Comparação de Métodos de Apoio à Decisão Multicritério: AHP, TODIM e PROMETHEE II. 20(1), 218-233. doi:<https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17531>
- O País, 2023 . <https://opais.co.mz/mais-de-cinco-mil-familias-estao-sitiadas-em-marracuene-devido-as-cheias/>.
- OMR,2023. [DR # 209 Inundações em Moçambique: o factor humano como agravante - OMR](#)
- Ouma, Y.; Tataishi, R. Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. Water, n. 6, p. 1515-1545, 2014.
- Otokiti, K. V.; Adesina, O. S.; Mohammed, I. Forest Cover Dynamics in a Changing Climate: A Case Study of Ibadan, Nigeria. Journal of Environment Protection and Sustainable Development, v. 5, n. 3, p. 118-125, 2019.
- Pimenta, L. B., Beltrão, N. E., Gemaque, A. M., e Tavares, P. A. (Abril/Junho de 2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. INTERAÇÕES-Campo Grande, 20(2), 407-420. doi:<http://dx.doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>.
- Ramos, C. (2009). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. Centro de Estudos Geográficos-UL.
- Rahmati, O.; Zeinivand, H.; Bescharat, Z. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk, v. 7, n. 3, p. 1000 1017, 2015.

Soriano F. e Galdino, 2002. <https://pt.slideshare.net/slideshow/pluviometria/43486970>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 161-176. Obtido em 04 de Dezembro de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. Obtido em 04 de Dezembro de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/>

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

[Seca: o que é, suas causas e suas características](#)

Silva, R. M., e Belderrain, M. C. (2005). Considerações sobre métodos de decisão multicritério. Encontro De Iniciação Científica E Pós-Graduação Do Ita (pp. 1-7). São José dos Campos: XI Encita. Obtido em 04 de Dezembro de 2022, de <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf> 2005

Silva, F., Santos, C. B., & Galdino, S. V. (2016). Ferramentas de qualidade na gestão dos serviços de saúde: Revisão integrativa de literatura. *Revista Gestão & Saúde*, 7(Supl. 2), 1023–1057. Disponível em <https://periodicos.unb.br/index.php/rgs/article/view/3569>

Sousa, J. V., Jeronimo, T. B., Melo, F. J., e Aquino, J. T. (2017). Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. 15(1), pp. 89-100. Obtido de <http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exactaepage=articleeop=view>

Tehrany, M, S. et al. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, v. 125, p. 91–101, 2015.

Tucci, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Ed. Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, 471 p.

Revizano, Waldir Andrade; Freitas, André Luiz Policani. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção, 2005.

Villela, S.M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

Veyret, 2007; Veyret e Richemond, 2007; Cruz, 2007. Definições e vulnerabilidades do risco. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradução Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007b. p. 25-46.

Waqas, H et al. Flash Flood Susceptibility Assessment and Zonation Using an Integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Water*, v. 1650, n. 13, p. 1-28, 2021.

Wilver, S. R. 2010. 143 p. Análise das áreas de risco relacionadas à dinâmico meio físico na cidade de Antônio Carlos – SC. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

Xavier da Silva, J. Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro: sn, 2022. 228 p.

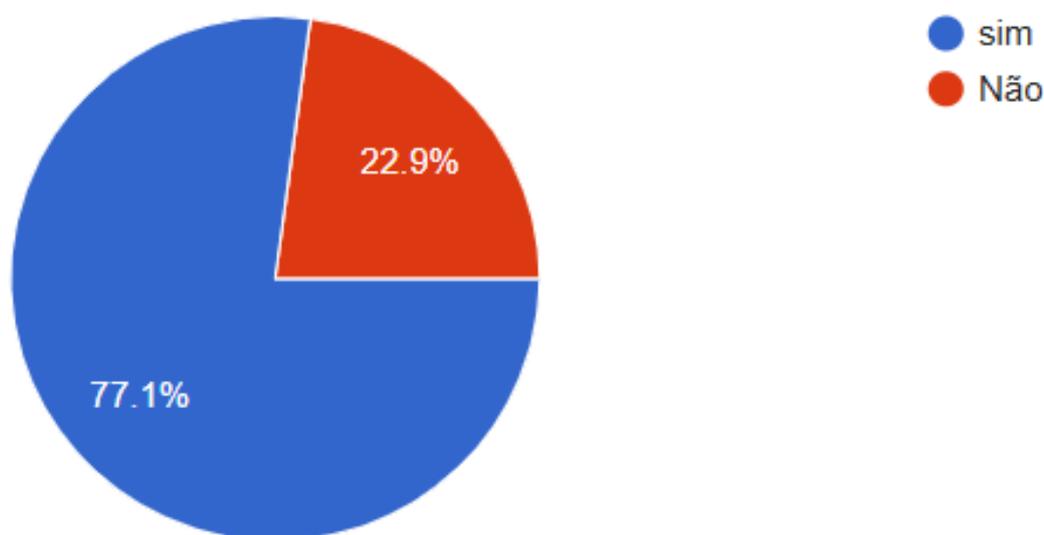
Zaidan, A. D. B. Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas: UNICAMP, 2022. 240 p.

Anexos

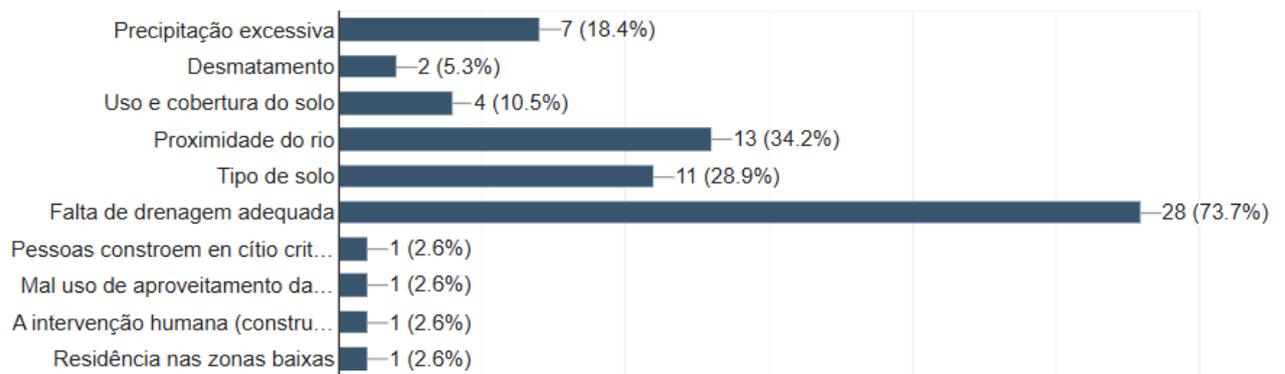
Esta seção apresenta materiais complementares utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Os anexos incluem documentos, mapas e dados relevantes que apoiam a análise realizada.

7.1 Causas e Medidas de Mitigação das Inundações segundo os Moradores de Marracuene

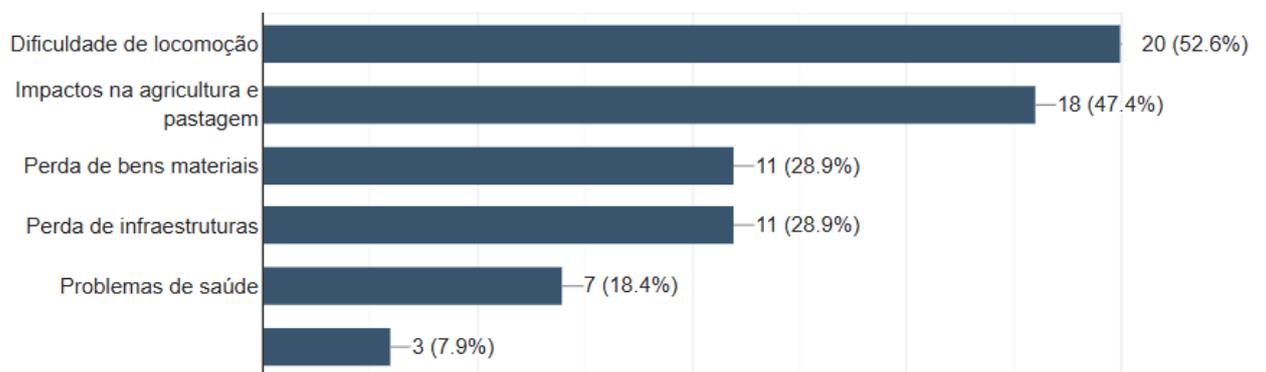
Com o objetivo de integrar o conhecimento local, foi aplicado um questionário aos residentes do Distrito de Marracuene para recolher informações sobre suas percepções em relação às inundações. As questões abordaram os principais fatores que, segundo os moradores, contribuem para a ocorrência de inundações na região, bem como sugestões de medidas para mitigar os seus impactos. As respostas obtidas permitiram identificar causas frequentemente mencionadas, a ocupação desordenada do solo e a obstrução das valas de drenagem, além de propostas comunitárias que incluem campanhas de sensibilização, melhoria da infraestrutura e ordenamento territorial mais rigoroso.



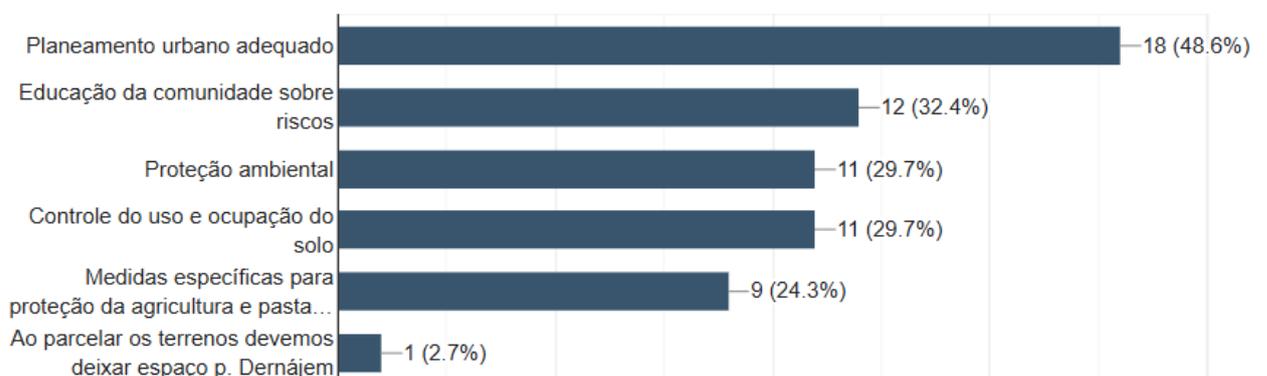
Anexo 1- Já presenciou inundações



Anexo 2: Na sua opinião, quais são os principais factores que causam inundações no Distrito de Marracuene



Anexo 3: Como as inundações afetam o seu bairro ou localidade



Anexo 4: Que ações poderiam ajudar a reduzir os impactos das inundações

<p>Melhoria dos sistemas de drenagem urbana: Limpeza regular e expansão das valas de drenagem.</p> <p>Reabilitação de pontes e estradas: Torná-las mais resilientes às cheias, garantindo o acesso durante emergências.</p> <p>Zonas de retenção de água pântanos artificiais: Para absorver o excesso de água em períodos chuvosos.</p> <p>2. Planeamento e Uso do Solo</p> <p>Reassentamento de comunidades em zonas de risco: Com apoio adequado em habitação e infraestrutura básica.</p> <p>Criação e aplicação de planos de ordenamento territorial: Restringindo a construção em áreas propensas a inundações.</p> <p>Monitoramento do uso do solo via satélite: Para detectar invasões ou desmatamento que aumentam o risco de inundações.</p>
Esgotos
Drenagens
criação de saneamento de água
Limpeza das valas de drenagem existentes
Hhahahjs
Construção de infraestrutura adequada, reflorestamento e preservação das áreas ribeirinhas, melhoria do sistema de alerta, educação comunitária, reforço nas políticas de urbanização, entre outros...
Que aja organização
Melhoria das valas de drenagem

Anexo 5: Que sugestões você daria para melhorar a prevenção e resposta às inundações no Distrito de Marracuene

7.2 Calculador AHP

A tomada de decisão multicritério foi realizada com recurso ao método AHP, utilizando a plataforma *AHP Calculator*, uma ferramenta online gratuita de apoio à decisão. Este programa permite efetuar comparações par a par entre os fatores, construir automaticamente a matriz de decisão, calcular os pesos relativos de cada fator e determinar a razão de consistência, garantindo a coerência lógica dos julgamentos atribuídos.

Prioridades Resultantes

Prioridades

Estes são os resultados ponderados pelos critérios escolhidos na sua comparação entre pares:

Cat		Prioridade	Rank	(+)	(-)
1	precipitacao	38.1%	1	14.5%	14.5%
2	cursos de agua	33.0%	2	17.7%	17.7%
3	declividade	14.1%	3	4.9%	4.9%
4	hipsometria	7.0%	4	2.3%	2.3%
5	uso e cobertura do solo	5.1%	5	1.9%	1.9%
6	tipo de solo	2.7%	6	1.2%	1.2%

Matriz de Decisão

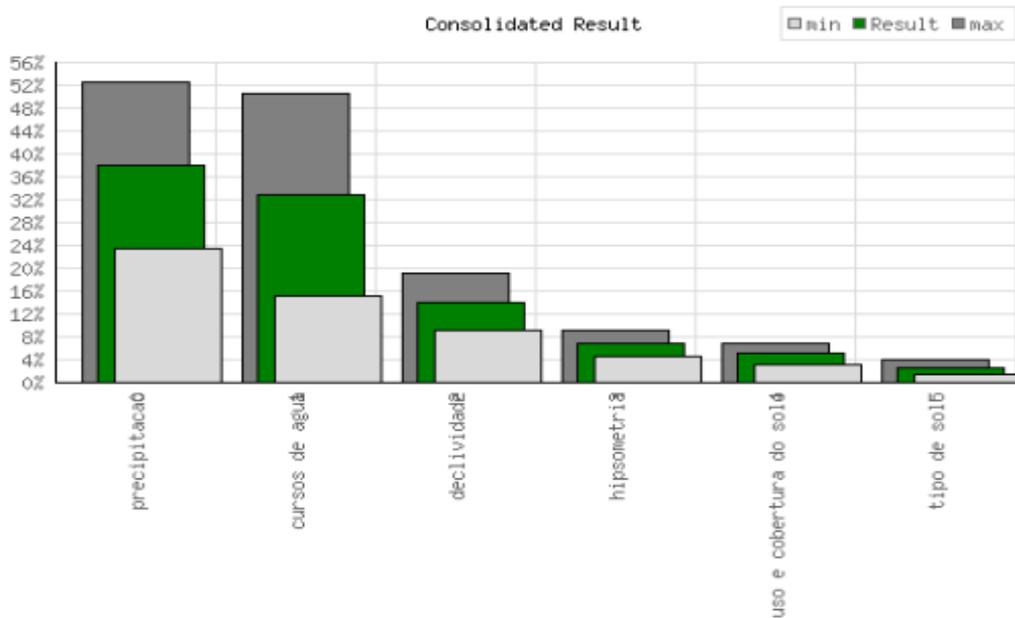
Os resultados ponderados são baseados no principal autovetor da matriz de decisão:

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	3.00	7.00	5.00	9.00
2	0.50	1	5.00	5.00	7.00	7.00
3	0.33	0.20	1	3.00	4.00	6.00
4	0.14	0.20	0.33	1	2.00	4.00
5	0.20	0.14	0.25	0.50	1	3.00
6	0.11	0.14	0.17	0.25	0.33	1

Número de comparações = 15
Razão de Consistência CR = 6.8%

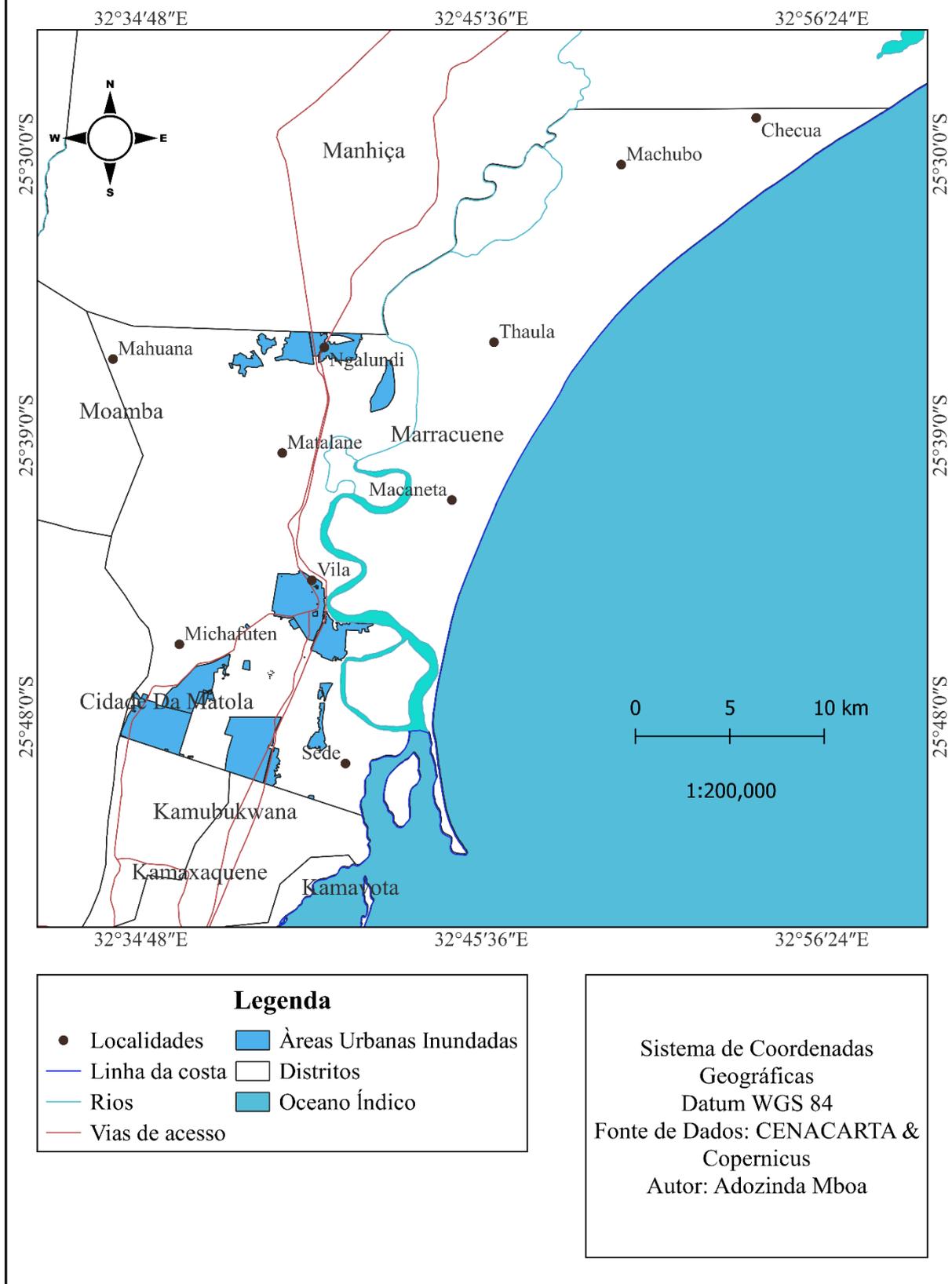
Autovalor principal = 6.426
Solução de Autovetor : 6 interações, delta = 4.5E-8

Anexo 6: Matriz de comparação pareada, razão de consistência



Anexo 7: Gráfico com as percentagem dos factores

Distrito de Marracuene Situação das inundações no ano de 2023



Anexo 8 – Simulação das cheias em Fevereiro de 2023

