



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Modelação da Susceptibilidade à Inundações Baseada Em Análise
Multicritério Em Sistemas de Informação Geográfica**

Caso de estudo: Distrito de Boane

Autor: Edilson Célia Nhanenge

Maputo, Maio de 2024



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Modelação da Susceptibilidade à Inundações Baseada Em Análise
Multicritério Em Sistemas de Informação Geográfica**

Caso de estudo: Distrito de Boane

Autor: Edilson Célia Nhanenge

Supervisor: Lic. Mário Azarias Chelengo, UEM

Maputo, Maio de 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha mãe, Célia Fernando Nhanenge, por acreditar em mim e não envidar esforços para garantir que tivesse uma excelente educação.

Declaração de Honra

Eu, **Edilson Célia Nhanenge**, 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 Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Maio de 2024

Edilson Célia Nhanenge

(Edilson Célia Nhanenge)

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por tudo o que Ele tem feito na minha vida.

Agradeço a Universidade Eduardo Mondlane, por ter me ajudado a quebrar barreiras da ignorância, mostrando que a cura está na educação.

Os agradecimentos se estendem aos docentes do Departamento de Matemática e Informática- DMI, por todo o aprendizado e pelas oportunidades concedidas. O agradecimento especial vai para o meu supervisor do projecto, Lic. Mário Azarias Chelengo, pelo apoio, aprendizado, críticas e sugestões durante a materialização deste projecto.

A minha mãe por ter me criado e proporcionado uma boa educação revestida de princípios e valores vitais. Aos meus avós Leonor Mutsando e Fernando Nhanenge por terem me nutrido de valores morais que carrego no meu dia-a-dia.

A todos os colegas do curso de Ciências de Informação Geográfica, alguns dos quais se tornaram verdadeiros amigos pelo apoio prestado a mim desde o primeiro dia de aulas na academia, se estendo até período do desenvolvimento deste trabalho. Os agradecimentos especiais vão para os colegas Armando Chaúca, Dionísio Jeane, Eduardo Timana e Hélio Langa por terem se demonstrado verdadeiros amigos.

À toda família, os meus tios Celso Nhanenge, Berthold Nhanenge, Anselmo Nhanenge, ao meu irmão Yanick Chihio. Endereço também os agradecimentos especiais a todos aqueles que contribuíram de forma directa e indirecta na materialização deste trabalho, assim como no apoio prestado desde o início da jornada académica.

Resumo

A ocorrência de eventos extremos, como é o caso das inundações tem sido frequente nos últimos anos em Moçambique, devido as alterações climáticas e também como consequência da dinâmica de uso do espaço territorial. A inundações tem causado prejuízos avultados, sejam de nível social, económico e ambiental. Nos últimos anos o Distrito de Boane tem sido assolado por inundações severas.

O presente trabalho tem como objectivo fazer uma análise da susceptibilidade as inundações no Distrito de Boane, aplicando a análise multicritério na escolha da solução mais adequada do problema estudado, visando identificar áreas susceptíveis a esse fenómeno.

Na aplicação do modelo de susceptibilidade às inundações utilizou-se um conjunto de factores condicionantes ao padrão de distribuição espacial das inundações na área de estudo. Para análise comparativa dos factores recorreu-se a Análise Hierárquica de Processos em ambiente de Sistema Geográfico de Informações. Na definição dos pesos constatou-se que os cursos de água é que **mais contribuem** para ocorrência de inundações na área de estudo e a temperatura é que **menos impacto** representa. Em um total de 778,905 Km² da área do Distrito de Boane, segundo o modelo desenvolvido, cerca de 48% desse território apresenta uma susceptibilidade elevada às inundações e 31% dessa área apresenta uma susceptibilidade baixa às inundações. Por sua vez 21% da área apresenta um potencial moderado a susceptibilidade a inundações. As regiões do Distrito que apresentam uma susceptibilidade elevada às inundações localizam-se sobretudo nas regiões de menor altitude (abaixo dos 50 m) e apresentam uma declividade no intervalo dos 0 - 3%, concretamente na região central do Distrito (estendendo-se da Vila do Boane até Campoane no posto Administrativo de Matola-Rio) e estão próximas aos principais cursos de água como é o caso do rio Umbelúzi e os seus afluentes. Para a validação do modelo foi feita uma comparação pixel a pixel do modelo desenvolvido com o mapa de inundações produzido pela Copernicus. Os resultados da validação do modelo apresentaram uma Precisão global em torno de 99,2%.

Palavras-chave: Análise Multicritério, Inundações, Modelação Espacial, Susceptibilidade.

Abreviaturas

ARA SUL – Administração Regional de Águas do Sul

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

CCI – Centro Comum de Investigação

CIG - Ciências de Informação Geográfica

DMI – Departamento de Matemática e Informática

DR - Detenção Remota

ESA - *The European Space Agency* (Agência Espacial Europeia)

GPS - *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

INE - Instituto Nacional de Estatística

MAE - Ministério da Administração Estatal

MITADER - Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural

MICOA - Ministério para Coordenação Ambiental

MAM - Método de Análise Multicritério

MDE - Modelo Digital de Elevação

MOPHRH - Ministério Obras Pública, Habitação e Recursos Hídricos

RM - Rádio Moçambique

SIG - Sistema de Informação Geográfica

PAC - Plano Anual de Contingência

ONU - Organização das Nações Unidas

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

UNICEF - *The United Nations Children's Fund* (Fundo das Nações Unidas para a Infância).

USGS - *The United States Geological Survey* (Serviços Geológicos dos Estados Unidos)

WGS 1984 - *World Geodetic System 1984* (Sistema Geodésico Global)

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do problema.....	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Relevância.....	3
1.5. Objectivos.....	3
1.5.1. Objectivo Geral.....	3
1.5.2. Objectivos específicos.....	3
1.6. Área de Estudo.....	4
1.6.1. Localização da área de estudo.....	4
1.6.3. Aspectos Climáticos e Hidrografia.....	7
1.6.4. Precipitação.....	9
1.6.5. Vegetação.....	9
2. Revisão de Literatura.....	11
2.1. Fenómenos Hidrológicos extremos.....	11
2.2. Inundações.....	12
2.2.1. Tipos de inundações e suas causas.....	12
2.2.2. Inundações Urbanas.....	13
2.2.3. Inundações Fluviais.....	14

2.2.4.	Inundações no Distrito de Boane.....	16
2.3.	Susceptibilidades.....	17
2.4.	Geoprocessamento	17
2.4.1.	Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	17
2.5.	Análise Multicritério para tomada de decisão	21
2.5.1.	Análise Multicritério em ambiente SIG	22
2.5.2.	O método AHP como instrumento de tomada de decisão multicritérios.....	22
3.	Material e Métodos	27
3.1.	Material	27
3.1.1.	Dados usados.....	27
3.1.2.	Equipamentos Computacionais usados.....	28
3.2.	Método.....	28
3.2.1.	Seleccção e Avaliação dos factores.....	31
3.2.2.	Pré-processamento	31
3.2.3.	Processamento de dados.....	31
4.	Resultados e Discussão	44
4.1.	Resultados.....	44
4.1.1.	Susceptibilidade às inundações Urbanas.....	44
4.1.2.	Validação dos resultados.....	47
5.	Conclusões e Recomendações	50
5.1.	Conclusões	50
5.2.	Recomendações	51
6.	Referências Bibliográficas	52
7.	Anexos.....	57
7.1.	Anexo 1: Aplicação do método AHP na tomada de decisão.....	57
7.2.	Anexo 2: Validação do modelo	58
7.3.	Anexo 3: Copernicus	58
7.4.	Anexo 4: Modelo Digital de Elevação.....	59

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de Localização Geográfica.	4
Figura 2: Mapa da distribuição das classes de solos do Distrito de Boane.....	5
Figura 3: Mapa hipsométrico do Distrito de Boane.....	6
Figura 4: Rios e bacias hidrográficas que atravessam o Distrito de Boane.....	8
Figura 5: Mapa da situação pluviométrica no Distrito de Boane.	9
Figura 6: Distribuição das classes da cobertura do solo.	10
Figura 7. Ilustração dos conceitos de Enchente ou Cheia, Inundação e Alagamento.	12
Figura 8. Inundações na cidade da Beira, consequência do ciclone Idai.....	14
Figura 9. Infraestruturas destruídas pelas inundações no Distrito de Boane.	17
Figura 10. Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada.	24
Figura 11. Fluxograma simplificado dos procedimentos.	29
Figura 12. Fluxograma Metodológico para desenvolvimento do modelo de susceptibilidade a inundações.....	30
Figura 13. Mapa temático reclassificado da Hipsometria do Distrito de Boane.	32
Figura 14. Mapa temático reclassificado da declividade do Distrito de Boane.	33
Figura 15. Mapa temático reclassificado dos Cursos de água do Distrito de Boane.	35
Figura 16. Mapa temático reclassificado da temperatura média anual do Distrito de Boane.....	36
Figura 17. Mapa temático reclassificado da precipitação média anual do Distrito de Boane.....	37
Figura 18. Mapa temático reclassificado dos tipos de solo no Distrito de Boane.	38
Figura 19. Mapa temático reclassificado das classes de uso e cobertura do solo do Distrito de Boane.	40
Figura 20. Mapa de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane.	45
Figura 21. Gráfico da percentagem de cada classe de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane	47
Figura 22. Mapa temático da situação das inundações em Boane (13-02-2023).....	49
Figura 23. Anexo 1 – Ilustração da matriz de decisão.	57
Figura 24. Anexo 2- Ilustração da matriz de confusão.	58
Figura 25: Situação de inundações em Maputo -11-02-2023.....	59
Figura 26. Modelo Digital de elevação	60

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas no Planeta.....	13
Tabela 2: Regiões Vulneráveis as Inundações.....	16
Tabela 3: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP	23
Tabela 4: Valores de RI para matriz quadrada de ordem até 15.....	26
Tabela 5: Descrição dos dados usados	27
Tabela 6: Descrição dos programas utilizados.....	28
Tabela 7: Classificação e valoração das classes da Hipsometria.	32
Tabela 8. Classificação e valoração das classes da Declividade.	33
Tabela 9. Classificação e valoração das classes dos Cursos de água.	34
Tabela 10. Classificação e valoração das classes da temperatura.	36
Tabela 11. Classificação e valoração das classes da precipitação.	37
Tabela 12. Classificação e valoração das classes dos tipos de Solos.	38
Tabela 13. Classificação e valoração das classes de uso e cobertura do solo.....	39
Tabela 14. Matriz de comparação par a par.....	40
Tabela 15. Matriz de comparação par a par normalizada.	41
Tabela 16. Pesos do factores.....	41
Tabela 17. Tabela das áreas ocupada por cada classe de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane	47
Tabela 18. Matriz de confusão.....	48
Tabela 19. Tabela da precisão global	48

1. Introdução

Neste capítulo são descritos os aspectos fundamentais da susceptibilidade às inundações. E tem como objectivo dar um enquadramento sobre o problema que o trabalho procura responder, a sua justificativa, a relevância, os objectivos da pesquisa e a localização da área de estudo.

1.1. Contextualização

As inundações tornaram-se recorrente na actualidade. É fácil encontrar números a nível global e ou nacional que justifiquem tais cenários. Só no continente Africano dezenas de países incluindo Moçambique foram assolados por este fenómeno nos últimos 15 anos (ONU, 2018).

Para Caprario (2017) as inundações são consideradas fenómenos naturais decorrentes de precipitações internas com curta duração ou de longos períodos de precipitação contínua. Ainda segundo o mesmo autor salienta que este fenómeno vem sendo agravado pelo desenvolvimento urbano descontrolado, o qual, aliado ao mau planeamento público, modifica a capacidade de infiltração e drenagem das águas precipitadas, aumentando a frequência e magnitude de ocorrência de desastres ambientais.

Segundo dados da ONU (2017), a cidade dos países em desenvolvimento tem vindo a registar um crescimento acentuado nas últimas décadas. Facto que tem sido caracterizado por uma procura de espaço para erguer novas infra-estruturas. Essa procura por vezes não obedece os parâmetros do planeamento urbano, causando por vezes impermeabilização de grandes áreas que acarretam no aumento e nas constâncias de inundações.

A análise multicritérios com abordagem espacial têm sido comumente utilizada para planeamento do desenvolvimento, ocupação e uso da terra, no estudo e selecção de áreas aptas a diferentes usos, em avaliações de impacto ambiental, além da aptidão ou não de áreas para implementação de construções privadas e/ou públicas (Collins et al., 2001).

O uso de técnicas de Sistemas de Informação Geográficas para diagnóstico de risco, tomada de decisão em planeamento e gestão territorial tem registado um crescimento notável no país segundo Cumbane (2012). Para Dantas e Canil (2017) o facto de conhecer e visualizar onde as áreas susceptíveis aos desastres ocorrem, espacialmente, na forma de mapa temático, facilita o entendimento e aumenta a percepção do problema trabalhado.

Dessa forma, este trabalho propõe uma metodologia para identificação de áreas susceptíveis às inundações no Distrito de Boane, como ferramenta de apoio a mitigação dos efeitos desse fenómeno.

1.2. Definição do problema

Com base em um estudo feito por June (2013), concluiu-se que Moçambique apresentava fracos mecanismos de comunicação e disseminação de informação, uma vez que os planos de contingência a fenómenos hidrológicos extremos são elaborados com base em informação geral, a partir do nível provincial e nacional, o que por vezes não reflecte a realidade ao nível dos Distritos ou abaixo destes. O Plano Anual de Contingência (2022-2023) por exemplo, aponta apenas a Vila de Boane, como sendo a região susceptível às inundações no Distrito de Boane, no entanto as intempéries de fevereiro de 2023 contrariaram esse instrumento. Uma vez que outras localidades do Distrito e distantes da Vila de Boane foram assolados por inundações. O facto de não saber quais as áreas do distrito estão sujeitas a inundações dificulta as acções de mitigação dos efeitos desse fenómeno.

Com base nesses pressupostos, coloca-se a seguinte pergunta de pesquisa:

Qual é o grau de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane?

Hipótese Nula (H0): Não há diferença significativa no grau de susceptibilidade às inundações entre as áreas do Distrito de Boane.

Hipótese Alternativa (H1): Existe uma diferença significativa no grau de susceptibilidade às inundações entre as áreas do Distrito de Boane.

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).

Em fevereiro de 2023 a barragem dos pequenos Libombos, localizada no Distrito de Boane atingiu os níveis altos de enchimento, acima de 80% e não havendo capacidade para mais encaixe a ARA-SUL teve de efectuar várias descargas como forma de salvaguardar a integridade física da Barragem dos Pequenos Libombos. Essas descargas causaram inundações e condicionaram a transitabilidade em Boane (O País, 2023).

A escolha do tema resulta da necessidade de saber de uma forma minuciosa quais os bairros e ou povoados do Distrito de Boane são susceptíveis às inundações. O uso de mapas para a comunicação de

perigo e risco é, deste modo, uma valiosa ferramenta para a tomada de decisão. Os modelos de susceptibilidade às inundações são ferramentas visuais para comunicar a situação de perigo numa área.

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).

O desenvolvimento de modelos de susceptibilidades às inundações permitem fazer análises detalhadas da situação de uma determinada área. Esses modelos quando são bem desenvolvidos descrevem minuciosamente quais as áreas estão susceptíveis às inundações. E essa informação pode ajudar as estruturas distritais e ou municipais na elaboração dos seus Planos de Contingência o que vai contribuir na caracterização das áreas de inundações e na mitigação dos seus danos.

Espera-se que os resultados deste estudo possam ser um documento de referência importante para as autoridades locais e outras agências relevantes, assim como a sociedade no geral para fins de planeamento urbano e mitigação de inundações.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

Aplicar o modelo de susceptibilidade às inundações, recorrendo as técnicas de geoprocessamento, apoiado em análise multicritério, visando fornecer subsídios para melhorar o planeamento e gestão territorial no Distrito de Boane.

1.5.2. Objectivos específicos

- Identificar os factores antrópicos e ambientais condicionantes ao padrão de distribuição espacial das inundações;
- Aplicar a Análise Hierárquica de Processos na ponderação de significância dos factores condicionantes à ocorrência de inundações;
- Aplicar o modelo de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane;
- Avaliar a aptidão do modelo aplicado recorrendo a validação cruzada.

1.6. Área de Estudo

1.6.1. Localização da área de estudo

O Distrito de Boane está localizado na região Sul de Moçambique, a Sudoeste da província de Maputo, a 30 km da capital do país “Cidade de Maputo” (ver **Figura 1**). Sendo limitado pelos paralelos de latitudes 25° 46’12” S no extremo Norte e 26° 46’12” S no extremo Sul e pelos meridianos de longitude 32° 10’55” E no extremo Oeste e 32° 29’53” E no extremo Este. Faz fronteira a Norte com Distrito de Moamba, a Oeste e Sudoeste com o Distrito de Namaacha, a Sul e a Sudeste com o Distrito de Matutuine e a Este com o município da Matola e o Distrito municipal da Katembe (Governo da Província de Maputo, 2016).

A superfície do Distrito de Boane é de aproximadamente 778,905 Km². O Distrito está dividido em dois postos administrativos, (Boane e Matola-Rio), compostos por 4 localidades. Tem uma população estimada em cerca de 244.384 habitantes (INE, 2020) e uma densidade populacional de 298 hab/Km².

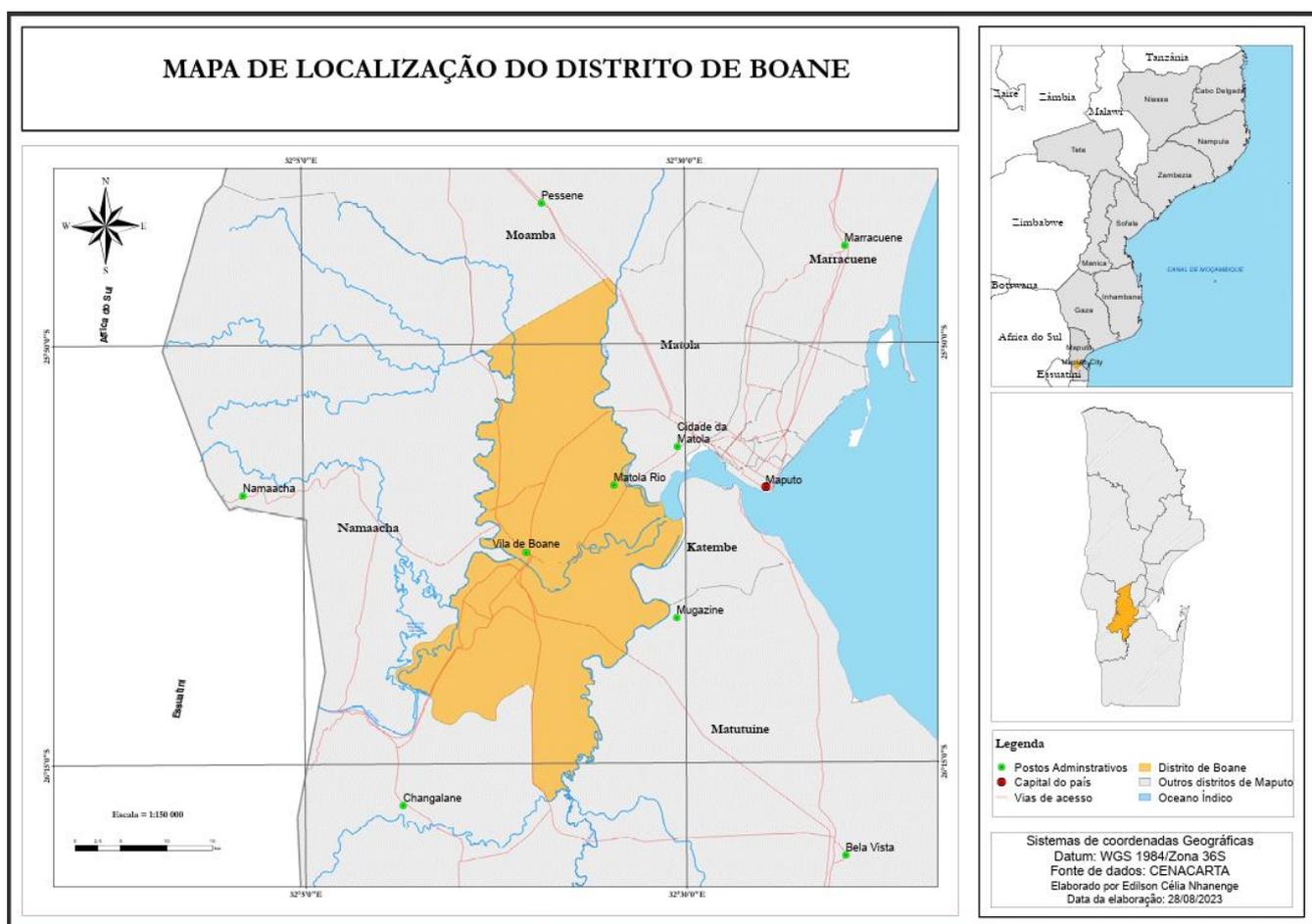


Figura 1. Mapa de Localização Geográfica.

1.6.2. Relevo e Solos

De acordo Myre (1971), o Sul de Moçambique é constituído por planícies. A cordilheira dos Libombos é a única "zona" que se destaca em termos altimétricos.

No Distrito de Boane o terreno é constituído por extensas planícies, "zonas" aplanadas e depressões. As "zonas" altimétricas de cotas compreendidas entre os 100 e 200 metros que constituem as elevações máximas da área de estudo (MAE, 2005).

Com base no estudo feito a partir da carta de solos da província de Maputo a escala de 1:250 000 e respectiva nota explicativa foi possível fazer uma análise dos tipos de solos presentes na área de estudo e sobretudo, identificar solos que apresentam características pedológicas no que concerne a drenagem das águas. O Distrito de Boane é constituído por 8 agrupamentos de solos: os solos arenosos, solos basálticos, aluvionares, sedimentos marinhos, solos de posto de mananga, solos riolíticos, derivados de grés vermelho (Hilário, 1996).

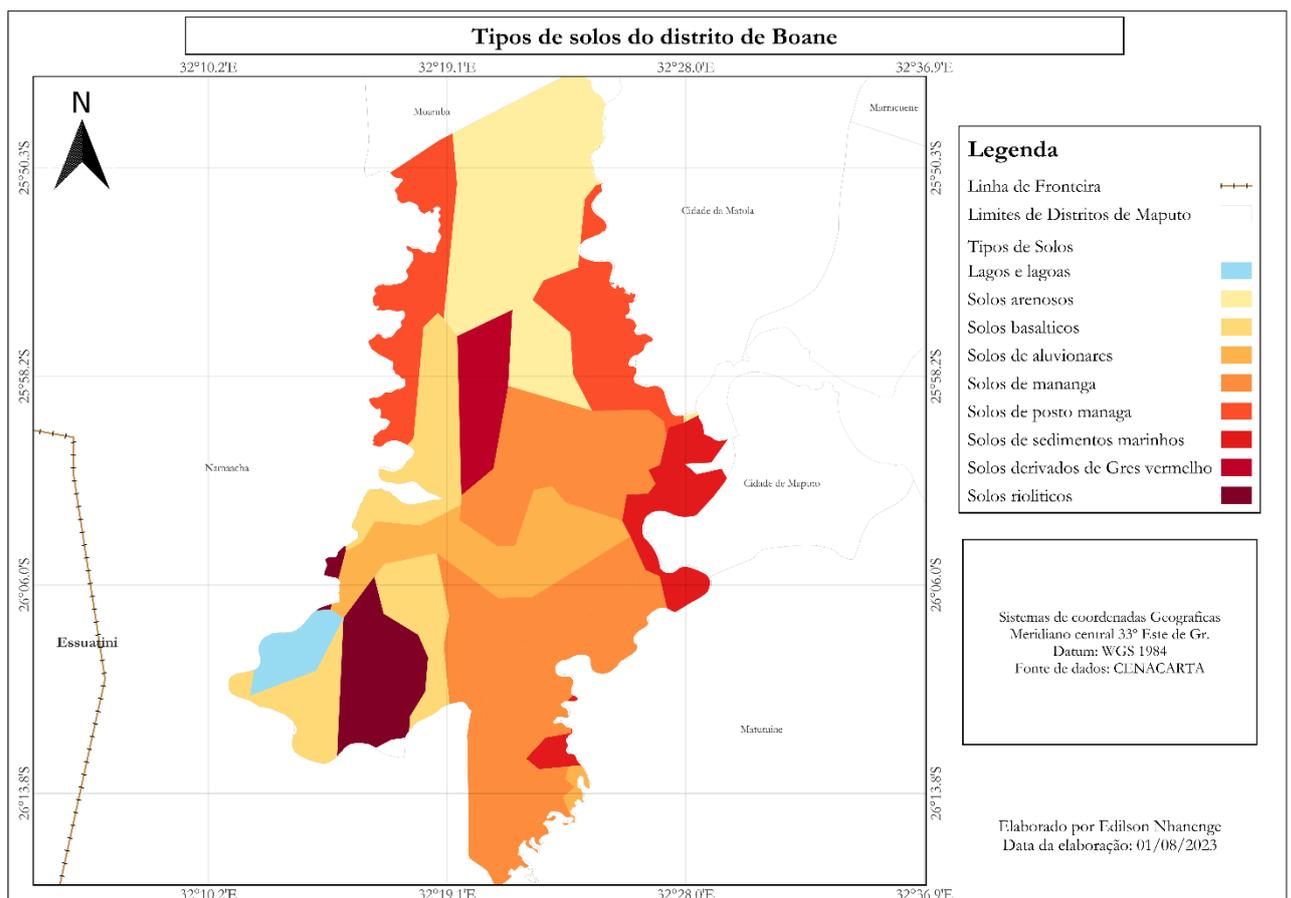


Figura 2: Mapa da distribuição das classes de solos do Distrito de Boane

1.6.3. Aspectos Climáticos e Hidrografia

A região de Boane encontra-se sob a acção dos ventos alísios, e o seu clima é condicionado por um regime anticiclónico e de depressões das regiões intertropicais e sofre ainda a influência da corrente marítima quente do Oceano Índico (Hilário, 1996).

O clima da região é sub-húmido e com deficiência de chuva na estação fria, caracterizado por alternância entre as condições secas, induzidas pela alta pressão sub-continental e a as incursões de ventos húmidos do oceano Índico. Vagas de frio podem trazer tempestades violentas e chuvas torrenciais de curta duração (MAE, 2005)

A temperatura média anual é de 23.7°C verificando-se que os meses mais frios são os de Junho e Julho e os mais quentes e os mais quentes Janeiro Fevereiro. A amplitude térmica anual é de 8.8°C.

De acordo com o MAE, (2005) a maior Bacia hidrográfica que encontramos no Distrito de Boane é a bacia hidrográfica de Umbelúzi, que desempenha um papel preponderante no abastecimento da água potável para as cidades de Maputo, Matola e o Distrito de Boane.

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbelúzi fica localizada no extremo sul da província de Maputo, onde está inserido o seu rio principal, que nasce no reino do Essuatíni (antigo reino da Suazilândia), perto da fronteira ocidental com a África do Sul. Entra para Moçambique através de uma garganta cortada na cordilheira dos Pequenos Libombos, no Distrito da Namaacha (Muchangos, 1999).

O principal rio da bacia hidrográfica do Umbelúzi, o rio Umbelúzi flui na direção Este e desemboca no Oceano Índico através do estuário do Espírito Santo, no Sul de Maputo, onde também tem a sua foz, os rios Matola e Tembe.

Segundo Droogers (2014), a bacia hidrográfica total do rio Umbelúzi é de cerca de 5400 km². Sendo que cerca de 42% da área está em Moçambique, isso corresponde a cerca de 2240 Km², 56% no reino de Essuatíni e apenas 2% na África do Sul. A bacia do rio Umbelúzi tem dois grandes afluentes, o Umbelúzi Branco na Suazilândia e o Movene em Moçambique, que se juntam ao rio principal.

Os principais afluentes do rio Umbelúzi em Moçambique são os rios Calichane e Movene, respectivamente a montante e a jusante da barragem dos Pequenos Libombos. O rio Umbelúzi tem um escoamento médio de cerca de 490x10⁶ m³ na foz e de 360x10⁶ m³ com um regime permanente. A precipitação média anual é de 736 mm. O rio tem duas obras hidráulicas de vulto, nomeadamente a barragem de Mnjoli na Suazilândia e a barragem dos Pequenos Libombos em Moçambique (Droogers, 2014).

No Distrito encontramos também as bacias hidrográficas dos rios Tembe e Matola. Existem ainda no interior do Distrito vários curso de água de menor importância Chambadejova, Xangule, Mecaxuane, Massele, Mahube, Liaio e Xigubuta (MAE, 2005).

A bacia hidrográfica do rio Tembe, possui uma área de 2865 Km², dos quais 608 Km² (21%) na República da África do Sul (RSA) e em Moçambique com 2257 Km² (79%). O rio nasce na RSA e desagua na baía do Maputo, pelo estuário do Espírito Santo, com um regime de escoamento permanente (ARA-SAUL, 2017).

A bacia hidrográfica do rio Matola é uma bacia nacional e possui uma área total de 2382 Km². O rio nasce na planície de Vundice, Distrito de Moamba, desaguando na baía de Maputo, pelo estuário de Espírito Santo e têm um regime de escoamento permanente (ARA-SUL, 2017)

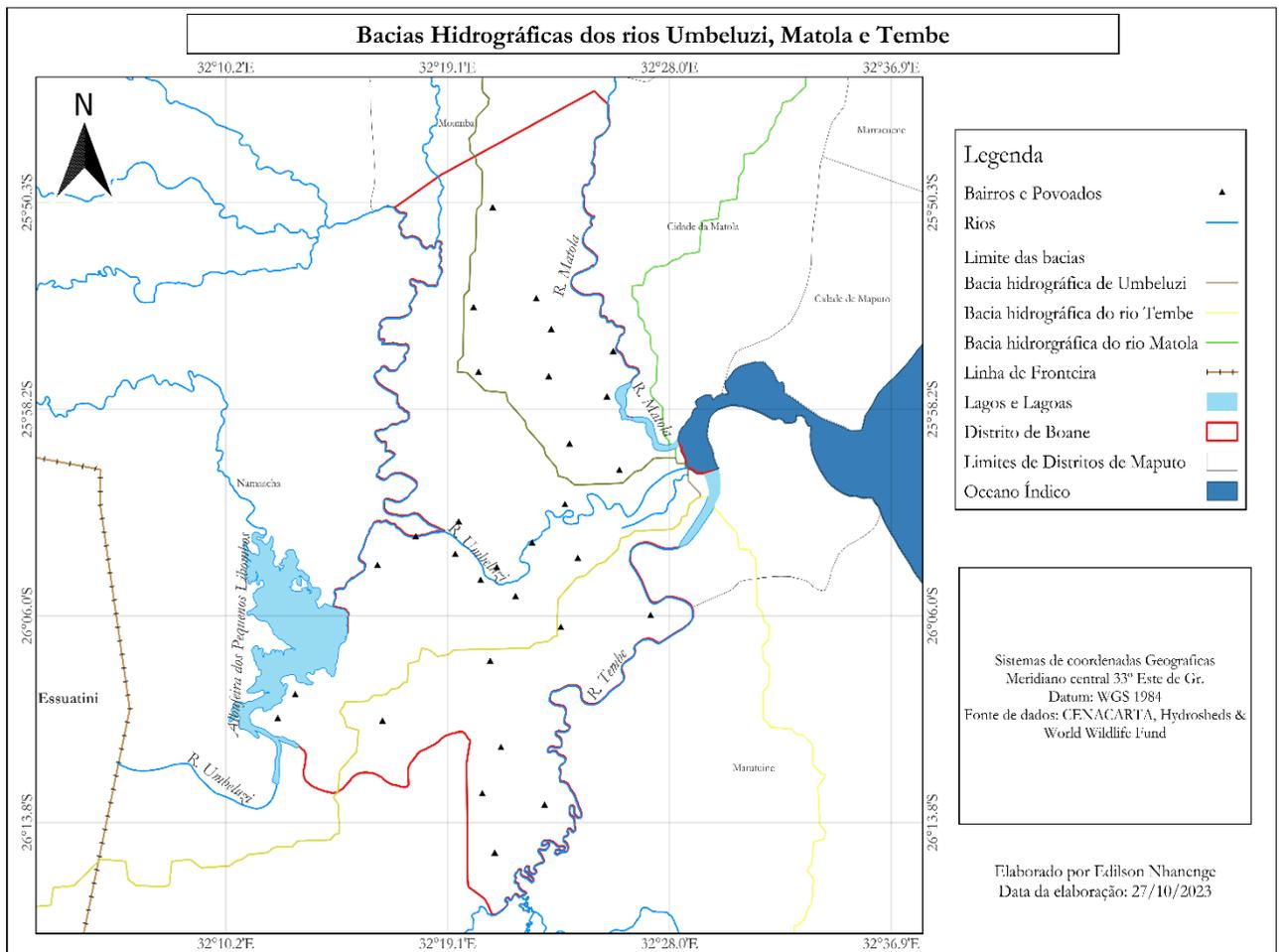


Figura 4: Rios e bacias hidrográficas que atravessam o Distrito de Boane.

1.6.4. Precipitação

O Distrito de Boane apresenta uma pluviosidade média anual em torno de 752 mm, variando entre os valores médios de 563.6 mm para o período húmido e os 43.6 mm no período seco. O período húmido estende-se de Novembro a Março e o período seco de Abril a Outubro. A humidade relativa média é de 80.5%, variando de um valor máximo 86% em Julho a um valor mínimo de 73.5% em Novembro (MAE, 2005).

Durante o mês de fevereiro de 2023 período que foi registado inundações no Distrito de Boane a precipitação máxima registada nesse mês foi de 300 mm (Verdade, 2023).

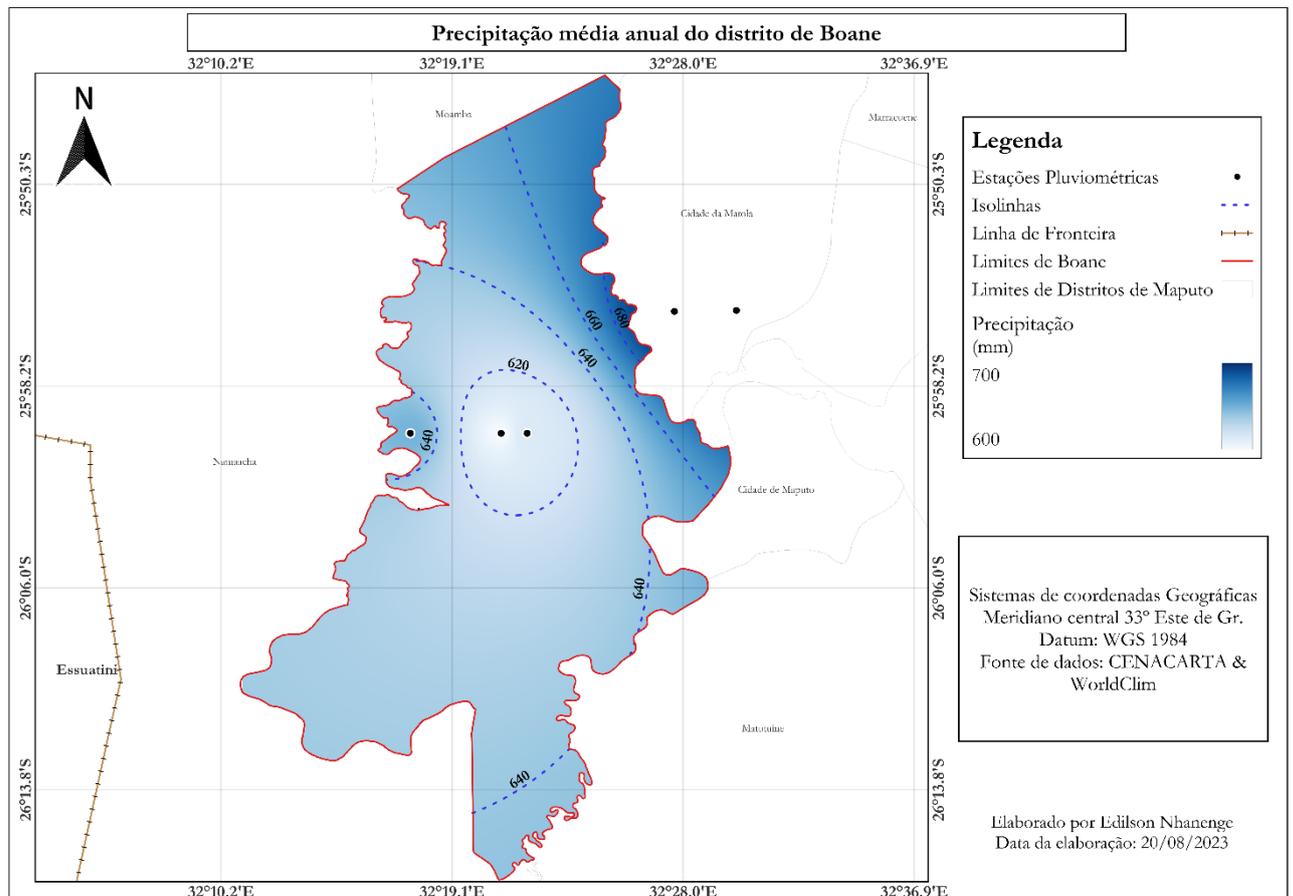


Figura 5: Mapa da situação pluviométrica no Distrito de Boane.

1.6.5. Vegetação

A vegetação ocupa uma posição de extrema importância para um estudo geográfico, pois condiciona as formas da vida animal, condiciona a morfogênese e a pedogênese, para além de interferir em múltiplas formas da vida humana.

Segundo Lebrun (s/d) citado por Lolita (1996), Moçambique está incluído na região Sudano-Zambeziana e dividido em dois domínios: O Zambeziano, que inclui toda a parte norte e grande parte do centro do país, e o das savanas e florestas Sul-africanas, que inclui toda a parte Sul do rio Save e uma pequena parte do centro. Por conseguinte, a região de Boane está incluída no aspecto fitogeográfico da região do Maputo que é do domínio das savanas e das florestas Sul-africanas.

A maior parte da vegetação nativa da área desapareceu devido ao corte de árvores para combustível lenhoso, e a conversão de terras para a prática da actividade agrícola, podendo encontrar-se áreas onde anteriormente existiu vegetação primária, cobertas de vegetação secundária (Hatton *et al.*, 1993).

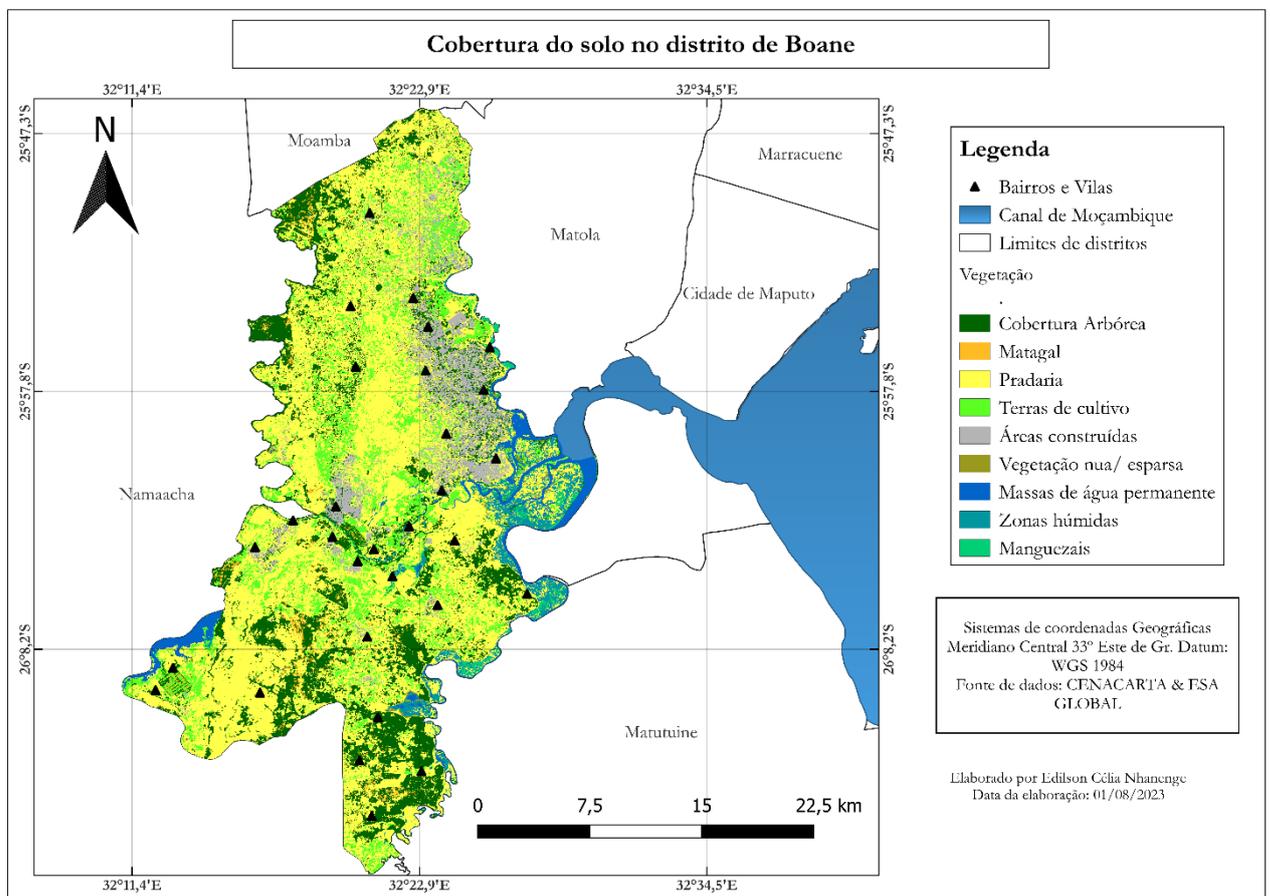


Figura 6: Distribuição das classes da cobertura do solo.

2. Revisão de Literatura

Este capítulo visa desenvolver uma abordagem teórica e conceptual em torno dos principais conceitos adoptados no âmbito da elaboração deste trabalho.

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).

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).

Segundo Chow (1956) 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 nos terrenos ribeirinhos.

Inundações e enchentes são fenómenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d'água, geralmente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. Estes eventos naturais têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, por atividades antrópicas (Reis, 2011).

Embora os termos enchentes e inundações venham sendo utilizados como sinónimos, eles apresentam diferenças importantes.

Enchente – Aumento temporário do nível de água no curso principal do rio passando a escoar na plenitude do seu leito menor, porém sem transbordar para a extensa planície de inundação.

Inundação – o termo inundações é um conceito mais amplo que inclui não apenas as cheias, mas também outros tipos de eventos que resultam na inundação de áreas terrestres, independentemente da fonte de excesso de água.

Alagamento – Acumulação de água em depressões, ruas e áreas urbanas, ou áreas de bacias hidrográficas urbanas, também designado, no país, por Inundações na Drenagem Urbana.



Figura 7. Ilustração dos conceitos de Enchente ou Cheia, Inundação e Alagamento. (Fonte: MOPHRH, 2020)

2.2. Inundações

As inundações são fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela acção humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa (Ramos, 2011).

Define-se Inundações o transbordo do rio do seu leito menor passando a escoar não só pela sua planície de inundação como, por vezes, galgando o nível de barreiras físicas como diques e estradas que cortam estas áreas das bacias hidrográficas (MOPHRH, 2020).

Para Caprario (2017) as inundações são consideradas fenómenos naturais decorrentes de precipitações internas com curta duração ou de longos períodos de precipitação contínua. Ainda segundo o mesmo autor salienta que este fenómeno vem sendo agravado pelo desenvolvimento urbano descontrolado, o qual, aliado ao mau planeamento público, modifica a capacidade de infiltração e drenagem das águas precipitadas, aumentando a frequência e magnitude de ocorrência de desastres ambientais.

2.2.1. Tipos de inundações e suas causas

Segundo Ramos (2009) as inundações podem ser devidas a várias causas e, consoante estas, podem ser divididas em vários tipos: inundações fluviais ou cheias, inundações de depressões topográficas, inundações costeiras e inundações urbanas.

Tabela 1: Tipos de inundações e suas causas no Planeta (Fonte: Ramos, 2009)

Tipo	Causa
Cheia (inundação fluvial)	<ul style="list-style-type: none"> - Chuvas abundantes e/ou intensas - Fusão da neve ou do gelo - Efeito combinado chuva + efeito das marés e/ou + <i>storm surge</i> - Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos
Inundação de depressões topográficas	<ul style="list-style-type: none"> - Subida da toalha freática (natural ou artificial) - Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida - Cheias
Inundação costeira	<ul style="list-style-type: none"> - <i>storm surge</i> - Tsunami ou maremoto - Subida eustática do nível do mar - Sismos com fenómenos de subsidência tectónica
Inundação urbana	<ul style="list-style-type: none"> - Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais - Subida da toalha freática (natural ou artificial) - Cheias

2.2.2. Inundações Urbanas

A inundação urbana coloca um sério desafio para o desenvolvimento e as vidas das pessoas, particularmente os habitantes de cidades em rápida expansão em países em desenvolvimento (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

Tal como nas cheias rápidas, as precipitações com elevada intensidade num curto espaço de tempo são também a causa predominante das denominadas inundações urbana (Oliveira e Ramos, 2002). Ainda segundo os mesmos autores estas ocorrem, como o próprio nome indica, em áreas urbanas ou em áreas fortemente artificializadas.

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 & Uacane, 2023).

➤ **Inundações Urbanas em Moçambique**

Moçambique é um país extremamente susceptível à ocorrência de eventos naturais extremos como sejam a seca, os ciclones tropicais e as inundações. Segundo dados do INE (2017) uma parte significativa da população Moçambicana vivia no estado de pobreza absoluta, facto este que cria condições para que o grau de vulnerabilidade à ocorrência destes fenómenos seja elevado.

A forte densidade populacional que tem caracterizado os principais centros urbanos tem causado uma procura de espaço para implantação de novas moradias. Situação essa que dá origem a ocupações informais e desordenadas, em áreas susceptíveis a ocorrência de eventos naturais extremos como são os casos das inundações urbanas.



Figura 8. Inundações na cidade da Beira, consequência do ciclone Idai (Fonte: UNICEF, 2019)

As cidades da Beira, Maputo, Quelimane e Matola são os principais centros urbanos do país que são susceptíveis às inundações urbanas. Além das cidades principais, as vilas e Distritos não estão livre das consequências deste fenómeno.

2.2.3. Inundações Fluviais

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 transbordamento da água de rios e lagos, em são fenómenos hidrológicos extremos, frequência variável, naturais ou induzidos pela acção humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa.

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.

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.

2.2.3.1. Inundações fluviais em Moçambique

Em Moçambique, as inundações fluviais são causadas por uma combinação de factores naturais e antropogénicos. Alguns dos principais contribuintes para as inundações fluviais em Moçambique incluem:

Chuvas Intensas: As chuvas intensas, muitas vezes associadas a sistemas climáticos como ciclones tropicais, podem resultar em volumes significativos de água que inundam rios e áreas adjacentes.

Topografia Plana: A topografia plana de muitas áreas em Moçambique facilita a disseminação da água em grandes extensões de terras durante eventos de chuva intensa.

Drenagem Inadequada: A falta de infraestrutura de drenagem eficaz em áreas urbanas e rurais pode contribuir para às inundações fluviais.

Desmatamento e Uso da Terra: A remoção da cobertura florestal e o uso inadequado da terra podem aumentar a erosão do solo e a sedimentação nos rios, contribuindo para inundações.

Obstruções nos Rios: Obstruções naturais, como árvores caídas, bem como obstruções causadas pela acção humana, podem restringir o fluxo dos rios, causando inundações.

Devido à sua localização geográfica e às condições climáticas da região, Moçambique é susceptível às inundações fluviais, especialmente durante a temporada de chuvas e quando sistemas climáticos intensos, como ciclones tropicais, atingem a região (MICOA, 2004).

Tabela 2: Regiões Vulneráveis as Inundações. (Fonte: PAC, 2019-2020)

Regiões	Sul	Centro	Norte
Vilas e Cidades vulneráveis a inundações	Xai-Xai	Zumbo	Larde
	Chókwe	Mutarara	Liupo
	Xinavane	Beira	Cuamba
	Ilha Josina Machel	Quelimane	Lichinga
	Vila de Boane	Dondo	Pemba
	Cidade de Inhambane	Búzi	Montepuez
	Nova Mambone	Marromeu	M. Praia
	Cidade de Chimoio	Caia	
		Machanga	
		Mopeia	
		Morrumbala	
		Maganja da Costa	

No mês de Fevereiro do presente ano (2023) o Distrito de Boane foi arrasada por inundações, resultante do aumento do caudal do rio Umbelúzi causado pelas fortes chuvas que fustigaram o sul e Centro de Moçambique nesse mês. A magnitude do fenómeno foi tanta que deixou um enorme rastro de destruição. Desde a destruição de infraestruturas socioeconómicas, a destruição de habitações até aos campos agrícolas.

2.2.4. Inundações no Distrito de Boane

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 inundações 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. As barragens de Incomáti, Corrumana e Pequenos Libombos ficaram saturadas e viram-se obrigadas a descarregar água durante alguns dias. O efeito dessa descarga causou fortes inundações nos Distritos de Boane e Moamba e também em Magude e Manhiça.



Figura 9. Infraestruturas destruídas pelas inundações no Distrito de Boane. (Fonte: RM, 2023)

2.3. Susceptibilidades

Henrique e Silva (2015), definem a Susceptibilidade como a probabilidade de ocorrência de fenómenos decorrente das condições do terreno, ou seja, é avaliada com base na correlação espacial entre factores de predisposição como declividade, geologia, cobertura e uso do solo.

Para Souza et al. (2012), susceptibilidade de uma área é dada pela predisposição natural do meio físico em desenvolver processos geodinâmicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações, erosões) em tempo indeterminado. Esses processos geodinâmicos podem ser agravados pelas práticas de uso e ocupação do solo.

2.4. Geoprocessamento

É o conjunto de todas as ciências e tecnologias (GEOGRAFIA, CARTOGRAFIA, TOPOGRAFIA, GEODÉSIA, GPS, DR, SIG) utilizadas para efectuar vários processos com dados e informações geograficamente referenciadas (Moreira, 2012).

O geoprocessamento está cada vez mais usado na gestão de um ou mais temas (meio ambiente, redes de distribuição, planeamento urbano, exploração mineral, construções, comércio, saúde, agricultura, etc.), presentes na superfície terrestre (Moraes Novo, 2008).

2.4.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O conhecimento espacial e a informação desempenham ao longo dos tempos um papel preponderante no desenvolvimento social, político, e económico da humanidade. Quase todos os fenómenos com que nos confrontamos diariamente assumem uma expressão territorial. Responder, analisar e conhecer a dimensão espacial associada a esses fenómenos consistiu um dos principais desafios que se colocam aos Sistemas de Informação Geográfica (Caeiro, 2013).

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de aplicações informáticas baseada em computador que permite capturar, modelar, recuperar, consultar analisar e representar dados geograficamente referenciados (Câmara e De Freitas, 1995).

De acordo com Pinde e Jiulin (2011), os SIG podem ser definidos como sistemas compostos por *hardware*, *Software* em um ambiente computacional que permitem capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente, funcionando como uma ferramenta de apoio à resolução de problemas geográficos. Para o mesmo autor, este envolve uma base de dados espacialmente referenciada e um Software próprio.

Segundo Câmara e De Freitas (1995), as principais características dos SIG são:

- Integrar informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terrenos;
- Oferecer mecanismos para análise geográfica, através de facilidades para consultar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados geocodificados.

Nos Sistemas de Informação Geográfica, os dados gráficos são os modelos do mundo real em forma digital. A representação digital dessas informações no mapa pode ser dividida em duas formas: vectorial e matricial. A estrutura vectorial representa os dados através de pontos, linhas e polígonos, segundo um sistema de coordenadas, enquanto a matricial, divide o objecto de estudo em elementos que compõem uma grelha. Estes elementos são denominados de células ou pixéis (Rohm, 2003).

2.4.1.1. Áreas de aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica

Segundo Oliveira (1997), os Sistemas de Informações Geográficas podem ser utilizados em muitas aplicações: planeamento e gestão urbana e regional, meio ambiente, infra-estrutura, agricultura, segurança, transportes, educação e marketing. Na mesma linha, o autor apresenta uma relação das diversas áreas de aplicação do SIG, divididas em cinco grupos principais:

- **Uso da Terra** – planeamento agro-pecuário, armazenamento e escoamento da produção agrícola, classificação de solos, gestão de bacias hidrográficas, planeamento de barragens, cadastro de propriedade rurais, levantamento topográfico e mapeamento do uso da terra.
- **Ocupação Humana** – redes de infra-estruturas, planeamento e supervisão de limpeza urbana, cadastro territorial urbano, mapeamento eleitoral, rede hospital, rede de ensino, controle epidemiológico, rota de veículos, planeamento urbano, sistema de informações turísticas, controle de tráfego aéreo, sistemas de cartografia náutica e serviços de atendimento de emergência.

- **Uso de Recursos Naturais** – controle da exploração vegetal e mineral, classificação de poços petrolíferos, planeamento de gasodutos e oleodutos, distribuição de energia elétrica, identificação de mananciais, gestão costeira e marítima.
- **Meio Ambiente** – controle de queimadas, estudos de modificações climáticas, gestão florestal, acompanhamento de emissão e acção de poluentes.
- **Actividades Económicas** – planeamento de marketing, pesquisa socioeconómica, distribuição de produtos e serviços bem como transporte de matérias-primas.

2.4.1.2. 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.

2.4.1.3. Modelação Espacial

Meneguete (2013) define modelação como sendo o acto ou arte de modelar, operação pela qual o escultor/modelador executa em gesso, barro ou qualquer substância maleável a sua obra, para depois ser fundida. No entanto para Oliveira (2009) nas ciências geográficas modelação seve para representar o mundo real no ambiente digital do computador.

Um modelo pode ser definido como conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou o comportamento de um sistema físico pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades de um sistema. Em sentido mais amplo, o modelo é a conceptualização do sistema, a qual preserva as principais características do sistema sem, necessariamente, preservar todas as características (Profile 2016).

A modelação espacial é um processo analítico realizado em conjunto com um sistema de informações geográficas (GIS) para descrever processos e propriedades básicas para um determinado conjunto de recursos espaciais

Para Rubert (2011), Modelação é a aplicação de métodos de análise e ferramentas para acompanhar e prever as evoluções temporais dos fenómenos geográficos e suas inter-relações. De acordo Isabel e Rodrigues (2015), a modelação espacial pressupõe a adopção de um modelo, entendido como a representação simplificada e sistémica do mundo real efectuada com recurso a um conjunto de regras, equações matemáticas e estimativas apuradas, que replica os processos actuais e os fenómenos naturais que operam no mundo real, com capacidade para realçar as características mais importantes e significativas do processo ou fenómeno objecto de modelação. Segundo os mesmos autores, a necessidade de criação de um modelo justifica-se, essencialmente, pelas vantagens associadas à conceptualização de um problema ou sistema de modo a responder a questões de interesse científico, já que a sua elaboração permite ao investigador determinar a influência das diferentes variáveis num determinado processo, contribuindo para uma melhor compreensão das relações espaciais entre diferentes elementos que compõem um sistema.

2.4.1.4. Fonte de dados

Os dados manipulados em um SIG, podem ser entidades ou fenómenos 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 telefone, escolas, hospitais, fluxo de veículos, aspectos climáticos, etc (Morato, 2011).

Os processos de colecta de dados são baseados em tecnologias de fotogrametria, detecção remota e levantamento de campo, ou seja, os mesmos já empregues há muito tempo em diversas áreas das geociências e da engenharia. Com isto, os produtos resultantes desses processos de colecta de dados é que são as verdadeiras fontes de dados dos SIG (Ramirez, 1994). Os SIG possuem dispositivos de interface que permitem que esses resultados sejam transferidos para um meio de armazenamento digital.

2.4.1.5. Reclassificação

Uma operação de reclassificação consiste em obter um campo temático a partir de outro campo temático, que pode ou não, ser de categorias temáticas distintas. Cada local de uma área de estudo é associado a um valor de um conjunto de classes temáticas, segundo uma tabela que modela o mapeamento entre os conjuntos de entradas e saída (Câmara *et al.*, 2007).

A reclassificação *raster* (matricial) é um processo usado para reclassificar ou alterar valores das células para valores alternativos usando uma variedade de métodos. A reclassificação pode ser feita por um valor de cada vez com base em critérios tais como intervalos específicos (Ramirez, 1994).

2.5. Análise Multicritério para tomada de decisão

A tomada de decisão considerando muitas variáveis é uma realidade em um contexto onde os problemas se tornam cada vez mais complexos, ao mesmo tempo que mais dados se tornam disponíveis. Problemas dessa natureza demandam, em geral, a avaliação de critérios representando atributos espaciais que possam assegurar uma decisão mais adequada à realidade local (Pimenta *et al.*, 2019).

Na análise de problemas para a tomada de decisão, as informações obtidas através do levantamento de dados geram um elevado número de variáveis ou de atributos que, durante o processo de avaliação, necessitam de critérios aos quais são atribuídos pesos e valores (Franco, Hernandez e Moraes, 2013). Assim, cria-se uma hierarquia em que, para facilitar a tomada de decisão, se prioriza os que detiverem maior peso e significância (Lima *et al.*, 2008).

Nesse processo, segundo Camargo *et al.* (2017) delimita-se o problema a ser solucionado e os atributos a serem considerados, para depois inserir quantificadores que permitem a estruturação das preferências dos tomadores de decisão.

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.

Figueira, Greco e Ehrgott (2005), citados por Pimenta *et al.*, (2019), afirmam que dentre os métodos existentes, destacam-se o *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE); Método Combinação Linear Ponderada (CLP); o Média Ponderada Ordenada (MPO); a Agregação pelo Operador (*Ordered Weighted Averaging* - OWA); o *Elimination and Choice Translating Algorithm* (ELECTRE), e o mais conhecido, o método Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP).

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.

2.5.1. Análise Multicritério em ambiente SIG

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 (Rodrigues *et al.*, 2002)

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).

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).

2.5.2. O método AHP como instrumento de tomada de decisão multicritérios

Entre os métodos de análise multicritérios mais difundidos e utilizados globalmente, destaca-se o Processo Analítico Hierárquico ou em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1980, nos Estados Unidos.

O método AHP analisa matematicamente comparações pareadas entre factores em conjunto aos julgamentos e pesos de especialistas para avaliar critérios qualitativos ou intangíveis. Assim, são identificados factores ou atributos que, quando selecionados, são organizados hierarquicamente descendentes de modo geral até o objectivo ou solução para o (os) problema (as) até o critério, subcritério e alternativas em diversos níveis (SAATY, 1987).

Para Saaty (1990), o método AHP é uma teoria geral de mensuração, usado para derivar escalas de comparações entre pares discretos e contínuos. Essas comparações podem ser tomadas a partir de medições reais ou de uma escala fundamental que reflete a força relativa das preferências e julgamentos.

Inicialmente, decompõe-se hierarquicamente para então agregar as soluções de todos os subproblemas em uma conclusão. Esse processo facilita a tomada de decisões, organizando percepções, julgamentos e informações em uma estrutura que exhibe as forças que influenciam uma decisão (Saaty, 1990). No caso simples e mais comum, as forças são organizadas a partir do mais geral e menos controlável para o mais

específico e controlável, utilizando a capacidade humana inata de fazer julgamentos sobre pequenos problemas.

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 carácter 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, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 3: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP. (Fonte: Pimenta *et al.*, 2019)

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

2.5.2.1. Construção de Hierarquias

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

decompor uma decisão complexa em partes menores, tornando mais fácil a avaliação e a comparação de critérios e alternativas (Lima *et al.*, 2015).

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, como apresentado na **Figura 9**.

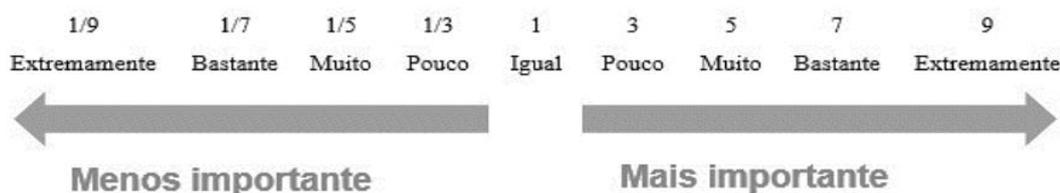


Figura 10. Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada. (Fonte: Pimenta *et al.*, 2019)

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 (Lima *et al.*, 2015).

A seguir é apresentado o 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 1**, 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 (Chan, 2004).

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.

2.5.2.2. 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.

2.5.2.3. 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).

Se a razão de consistente recomenda-se que julgamentos sejam refeitos (por exemplo, reescrevendo questões do questionário ou recategorizando elementos) até que a consistência aumente.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

IC = Índice de consistência dos julgamentos;

IR = Índice de consistência randômico.

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.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{Equação 2})$$

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 4: Valores de RI para matriz quadrada de ordem até 15. (Fonte: Saaty, 1987)

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

3. Material e Métodos

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos usados para a materialização deste trabalho, incluindo as suas respectivas fontes, descrevendo de forma detalhada os procedimentos tomados para o desenvolvimento de um modelo de susceptibilidade à inundações.

3.1. Material

3.1.1. Dados usados

Para o alcance dos objectivos traçados neste trabalho, foram utilizados dados de diferentes fontes, referentes à área de estudo e estão apresentados na tabela 5. Os dados referentes a divisão administrativa, a Hidrografia e aos tipos de solos foram obtidos na CENACARTA. Os dados de uso e cobertura do solo são um produto da ESA *WorldCover*, foram gerados a partir de dados de imagem de satélite SENTINEL 2B, com uma resolução espacial de 10m e são referentes ao ano de 2021 e estes foram adquiridos na ESA Global no sítio (<https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>). Os dados climáticos (Temperatura e Precipitação) foram adquiridos na WORLDCLIM (https://www.worldclim.org/data/index.html#google_vignette). Os dados de inundações usados na validação do modelo foram obtidos na COPERNICUS (<https://www.copernicus.eu/en/access-data/conventional-data-access-hubs>). E por fim os dados referentes ao MDE-STRM (Modelo Digital de Elevação) foram adquiridos da USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e tem uma resolução de 30m, onde foi possível extrair informação da Declividade.

Tabela 5: Descrição dos dados usados

Dados	Formato	Modelo de Dados	Fonte
Divisão Administrativa	Shapefile	Vectorial	CENACARTA
Tipo de solo			
Hidrografia			
Dados de Inundação			COPERNICUS
Precipitação	GeoTiff	Matricial	WORLDCLIM
Temperatura			
Uso e cobertura do solo			ESA GLOBAL
MDE			USGS

3.1.2. Equipamentos Computacionais usados

Para a concretização deste trabalho, foram utilizados diferentes *Softwares* (Programas computacionais) de modo a manipular os dados adquiridos em diferentes fontes, a descrição dos programas está ilustrada na tabela abaixo:

Tabela 6: Descrição dos programas utilizados

Programas e sua Versão	Função
Word 2013	Redação do trabalho
Excel 2013	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 3.22.1 (Bialoweiza)	Elaboração de mapas e validação dos resultados

3.2. Método

A metodologia adoptada na materialização deste trabalho consistiu na implementação da análise multicritério para a tomada de decisão na avaliação dos critérios, assim como na análise comparativa das variáveis que tem a influência de causar inundações na área de estudo. Na determinação de pesos visando à geração de um cenário com áreas susceptíveis a inundações, foi aplicado o método AHP (Processo Analítico Hierárquico). A metodologia foi desenvolvida seguindo 6 etapas a saber:

- Revisão Bibliográfica sobre evento de inundações;
- Aquisição de dados;
- Compilação e pré-processamento dos dados de entrada;
- Aplicação do método AHP (atribuição de valores de cada um dos critérios; reclassificação de cada critério, conforme a valoração atribuída; elaboração da matriz de decisão, definindo assim a importância entre os critérios; definição dos pesos de cada um dos critérios; validação do método);
- Aplicação da álgebra de mapas nos dados processados e categorização final;
- Validação dos resultados por meio de comparação de áreas susceptíveis à inundação dos resultados obtidos com recurso a uma imagem de satélite da Google Satélite e do mapa temático elaborado pelo Copernicus.

De forma resumida, a concretização deste trabalho, foi baseada nos procedimentos ilustrados nas **Figuras 11 e 12** abaixo:

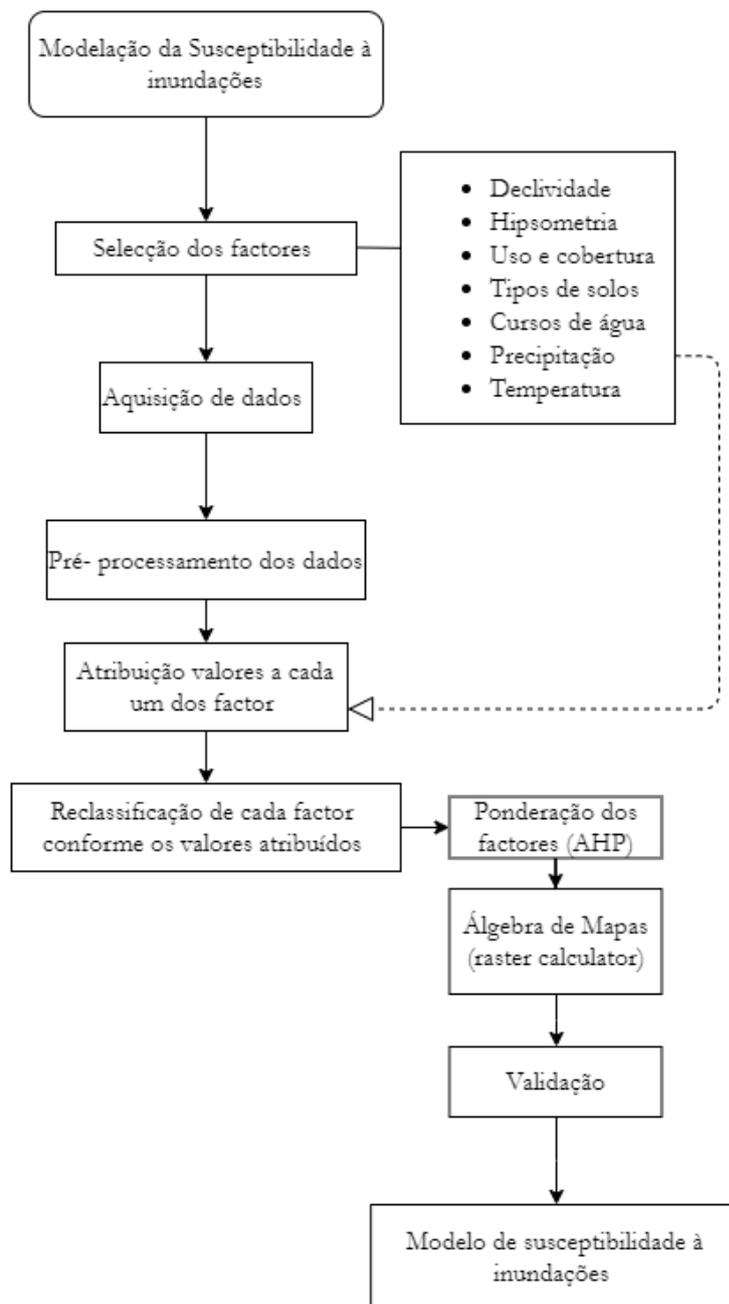


Figura 11. Fluxograma simplificado dos procedimentos.

A **Figura 12** ilustrada abaixo, apresenta em forma de fluxograma, os procedimentos completos para o desenvolvimento de um modelo de susceptibilidade a inundações, desde a aquisição de dados, ao seu processamento através de técnicas de geoprocessamento até a validação do mesmo.

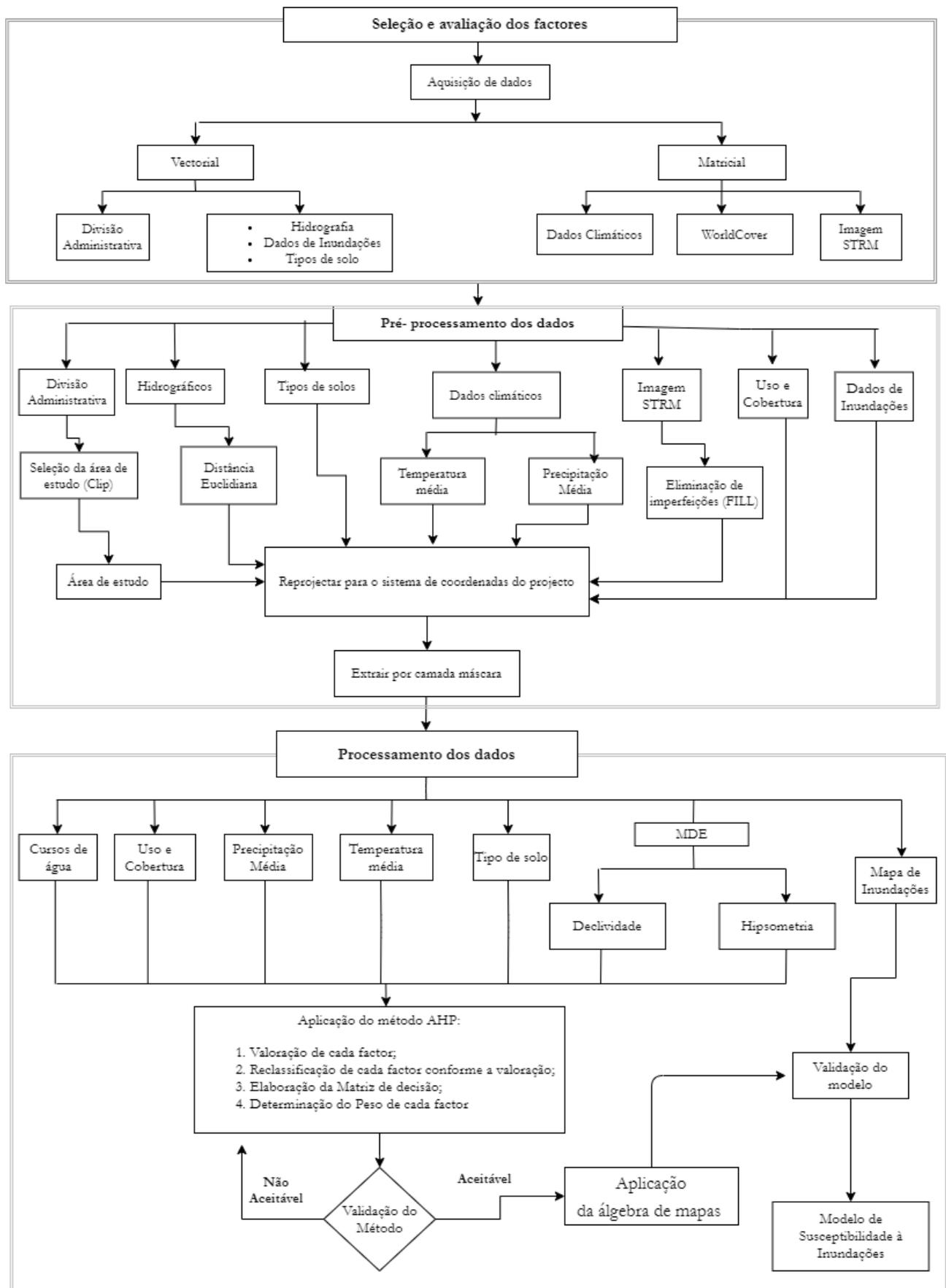


Figura 12. Fluxograma Metodológico para desenvolvimento do modelo de susceptibilidade a inundações.

3.2.1. Seleção e Avaliação dos factores

Para a modelação da susceptibilidade às inundações urbanas no Distrito de Boane foram seleccionadas um conjunto de condicionantes (factores) que tem a capacidade de tornar a área de estudo susceptível a inundações. As condicionantes seleccionadas neste estudo são as formas de relevo, a precipitação média, os cursos naturais de água, a temperatura média, os tipos de solos e os tipos de uso e cobertura do solo.

3.2.2. Pré-processamento

A fase do pré-processamento é a fase posterior a revisão bibliográfica. Consiste basicamente em reunir toda a informação cartográfica relevante na pesquisa. Essa informação permite realizar análise espacial.

O tratamento dos dados adquiridos foi realizado nesta fase e foi necessário um conjunto de procedimentos metodológicos que se descrevem a seguir.

3.2.2.1. Modelo Digital de Elevação

O Modelo digital de elevação usado no estudo é do sensor STRM, tem uma resolução espacial de 30 m. Para cobrir a área de estudo foram necessárias 2 imagens, onde foi feito o mosaico das mesmas, para garantir um arquivo *raster* único no final. A actividade a seguir foi o preenchimento de falhas no MDE, através da ferramenta (Fill).

A partir do modelo digital de elevação foi possível extrair a declividade e da Hipsometria.

3.2.2.2. Cálculos das distâncias dos cursos de água

Para a análise de grau de proximidade dos cursos de água foi processada através da ferramenta de Distância Eucladiana (*Euclidean Distance*), a qual permitiu calcular uma superfície contínua (*raster*), contendo os valores de distância em relação ao atributo mais próximo para cada ponto da superfície.

3.2.3. Processamento de dados

Todas as condicionantes seleccionadas precisam ser avaliadas para a tomada de decisão. Essa decisão foi baseada na metodologia de análise multicritério (MAM), concretamente o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*- Processo Analítico Hierárquico).

A implementação do método AHP inicia com a construção de hierarquias, análise de prioridades, elaboração da matriz de decisão, atribuição dos pesos e verificação da consistência.

3.2.3.1. Atribuição de valores aos factores e reclassificação

No processamento de dados as classes de cada condicionante (critérios) foram atribuídas uma nota (valor) de acordo com o nível de vulnerabilidade à inundação variando de 0 a 10. Ressalta-se que a atribuição das notas aos intervalos das variáveis foi uma adaptação feita baseada em trabalhos similares desenvolvidos por diversos autores.

1. Hipsometria

Para a elaboração do mapa hipsométrico utilizou-se o MDE. Para a representação do terreno, a área de estudo foi dividida em classes com intervalos, equidistantes de 32 m de altitude. Assim foram obtidas 5 classes, que variam de 0 a 160 metros de altitude (Figura 13). As classes da Hipsometria e a valoração estão sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 7: Classificação e valoração das classes da Hipsometria.

Altitude (m)	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
0 – 32	Muito elevada	9	Cury <i>et al.</i> (2021) e Maziva (2015)
32 – 64	Elevada	8	
64 – 96	Moderada	7	
96 – 128	Baixa	6	
128 – 160	Muito baixa	4	

Mapa temático da hipsometria reclassificado

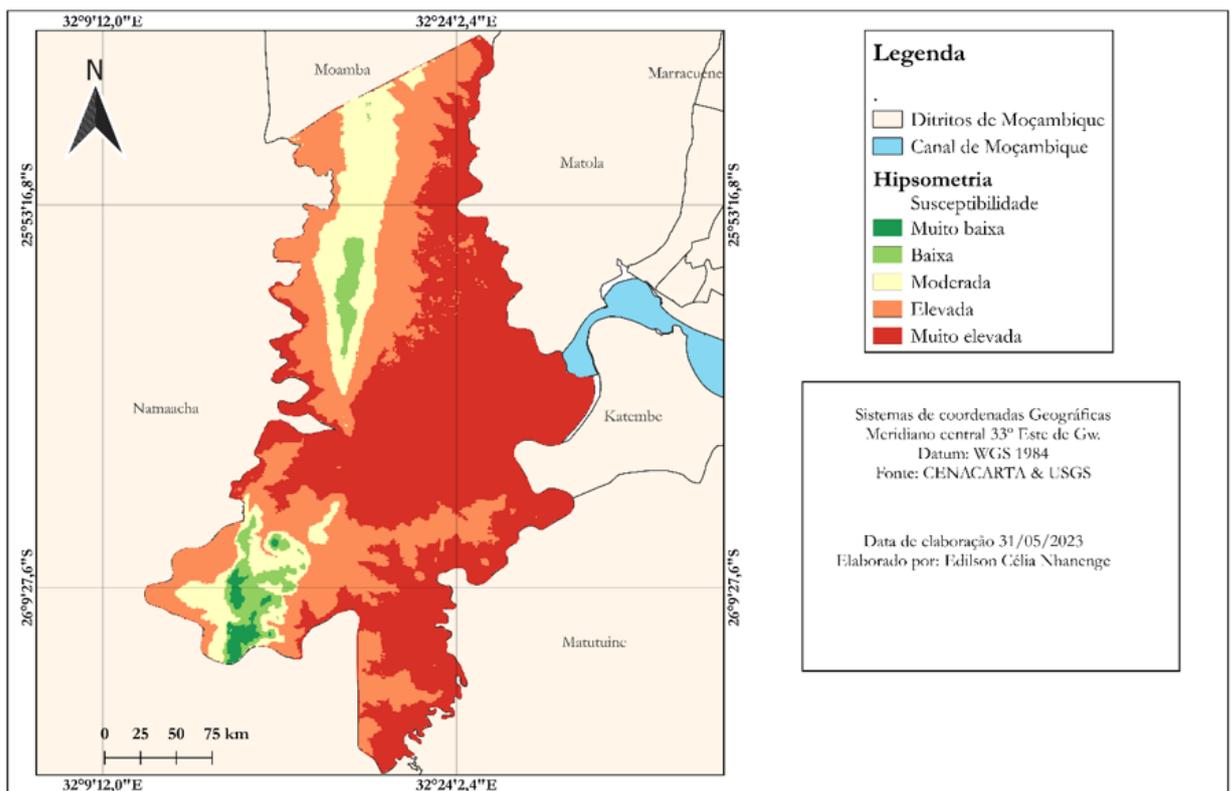


Figura 13. Mapa temático reclassificado da Hipsometria do Distrito de Boane.

2. Declividade

A declividade influencia directamente no acúmulo de água no terreno, visto que áreas planas apresentam probabilidades de sofrer inundações do que áreas mais declivosas (Oliveira e Vieira, 2017).

A inclinação do terreno influencia de forma directa o depósito de água superficial. Áreas planas e de várzea mostram maiores possibilidades de sofrerem inundações do que áreas mais íngremes (Roslee, 2017).

O factor declive, indica que as classes de declives dos intervalos de 0 a 3% são as regiões do Distrito com a maior susceptibilidade a inundações e as classes acima de 15% são as de menor susceptibilidade.

Tabela 8. Classificação e valoração das classes da Declividade.

Intervalo (%)	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
0 – 3	Muito elevada	9	Cury et al. (2021) e Maziva (2015)
3 – 6	Elevada	6	
6 – 9	Moderada	4	
9 – 15	Baixa	2	
>15	Muito Baixa	1	

Mapa temático da declividade reclassificado

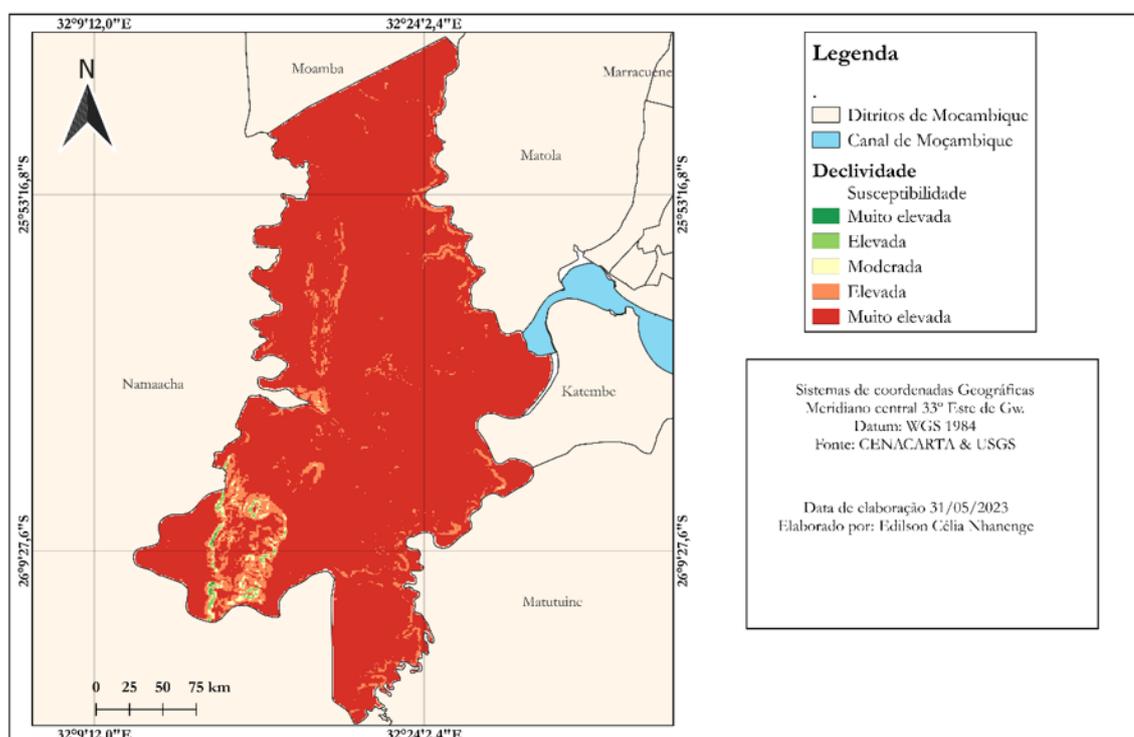


Figura 14. Mapa temático reclassificado da declividade do Distrito de Boane.

3. 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   superior   capacidade de descargas do canal (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998). A  rea de estudo   atravessada por 3 principais rios e estes têm afluentes que se estende ao longo do Distrito. Destacam-se também algumas lagoas de pequena dimensão.

Na análise dos dados de cursos de água rios foi usado um ficheiro vectorial produzido pela CENACARTA, com a informa o dos rios existentes em Moçambique.

Segundo Cury *et al.* (2021) ressaltam que os rios de menor ordem proporcionam suscetibilidade de inunda o 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 inunda es, pois o transbordo e conseqüente alagamento dos terrenos ribeirinhos compõem um processo natural, associado a todos os cursos de  gua. Desta forma, foi atribuído maior valor aos cursos de água mais próximos dos assentamentos humanos (tabela 5). Para a elabora o do mapa de distâncias   cursos de água, considerou-se a distância mínima de 1400. Os valores de susceptibilidades aumentam linearmente conforme se distanciam dos 1400 m.

Tabela 9. Classifica o e valora o das classes dos Cursos de  gua.

Distância (m)	Indicador	Reclassifica�o segundo o valor atribuído	Fonte
0 – 1400	Muito elevada	9	Cury <i>et al.</i> (2021) e Maziva (2015)
1400 – 2800	Elevada	7	
2800 – 4200	Moderada	5	
4200 – 5600	Baixa	3	
5600 – 7000	Baixa	2	
>7000	Muito baixa ou nula	1	

Mapa temático dos cursos de água reclassificado

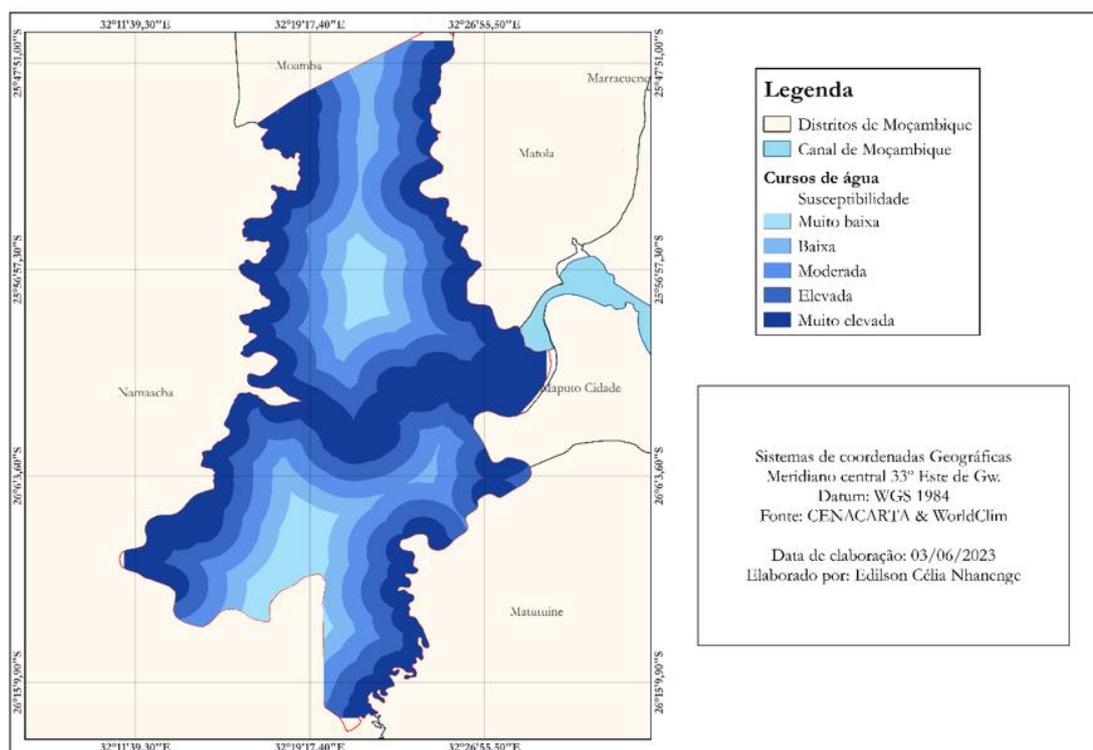


Figura 15. Mapa temático reclassificado dos Cursos de água do Distrito de Boane.

4. Temperatura Média Anual

A avaliação para temperatura média anual em relação a suscetibilidade à inundação, indica uma ligeira disparidade quanto ao valor das diferenças, a maior suscetibilidade a inundação é verificada nas classes que variam de 27 a 29° C.

Os dados da temperatura média foram adquiridos na WorldClim, apresentando uma resolução espacial de 30 segundos, no formato GeoTiff e são referentes ao período de 1970 a 2000.

É de salientar que a avaliação da temperatura média anual em relação à suscetibilidade a inundação não apresenta uma grande disparidade quanto ao valor das diferenças e maior suscetibilidade a inundação é verificada nos intervalos que apresentam valores maiores que 25°C. No entanto, no Distrito de Boane a temperatura média anual varia entre 20° a 25°C, o que demonstra que a temperatura tem um potencial baixo a inundações.

Tabela 10. Classificação e valoração das classes da temperatura.

Intervalo (°C)	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
20 – 25	Baixa	3	Cury et al. (2021) e Maziva (2015)
>25	Moderada	5	

Mapa temático da temperatura reclassificado

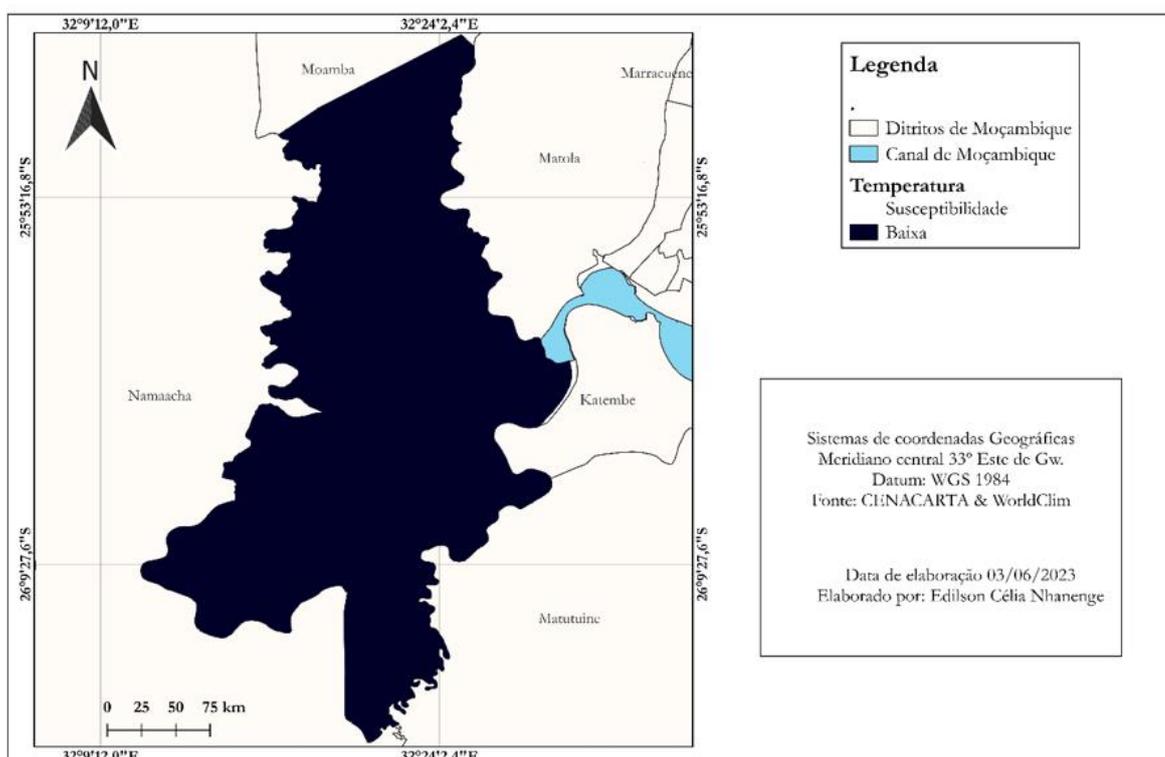


Figura 16. Mapa temático reclassificado da temperatura média anual do Distrito de Boane.

5. Precipitação Média Anual

Tucci (1993) entende a precipitação como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Por sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais para a hidrologia. É importante a determinação da intensidade da precipitação para controlar a inundação.

A precipitação no Distrito de Boane é mais intensa na época chuvosa que vai de Novembro a Março. A precipitação média anual para o Distrito de Boane varia 600 a 700 mm.

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 suscetibilidade de inundação relativamente baixa.

Tabela 11. Classificação e valoração das classes da precipitação.

Intervalo (mm)	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
600 – 650	Muito baixa ou nula	1	Cury et al. (2021) e Maziva (2015)
650 – 700	Baixa	2	

Mapa temático da precipitação reclassificado

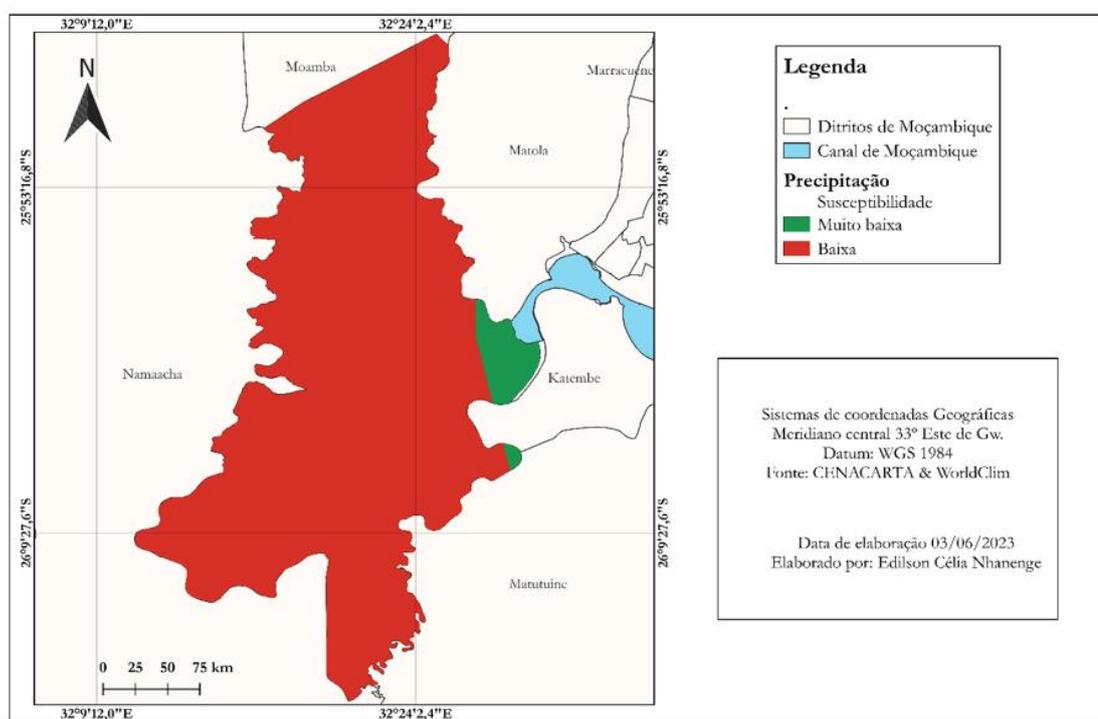


Figura 17. Mapa temático reclassificado da precipitação média anual do Distrito de Boane.

6. Tipos de solos

O tipo de solo reflecte na capacidade de infiltração e escoamento superficial da água. Os solos arenosos propiciam maior infiltração e percolação, reduzindo o escoamento superficial. Por sua vez os solos compostos por sedimentos finos, bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficialmente, produzem maior escoamento superficial (Pedro e Belo, 2012).

Segundo a análise os solos das áreas dos lagos e rios, os solos de mananga, dos sedimentos marinhos receberam os maiores valores, comparativamente com os solos de posto managa, solos arenosos, solos aluvionares e basálticos.

Tabela 12. Classificação e valoração das classes dos tipos de Solos.

Tipologia	Drenagem dos Solos	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
Solos arenosos	Boa a Excessiva	Muito Baixa	2	Cury et al. (2021) e Maziva (2015)
Solos basálticos	Moderada	Moderada	5	
Solos de aluvionares	Imperfeita a má	Muito elevada	9	
Solos de mananga	Imperfeita	Elevada	7	
Solos de posto managa	Boa	Baixa	4	
Solos de sedimentos marinhos	Má a muito má	Muito elevada	10	
Solos derivados de Grés vermelho	Excessiva	Muito Baixa	1	
Solos riolíticos	Moderada	Moderada	5	
Lagos, lagoas ou rios	Lagos e rios	Muito elevada	10	

Mapa temático dos tipos de solos reclassificado

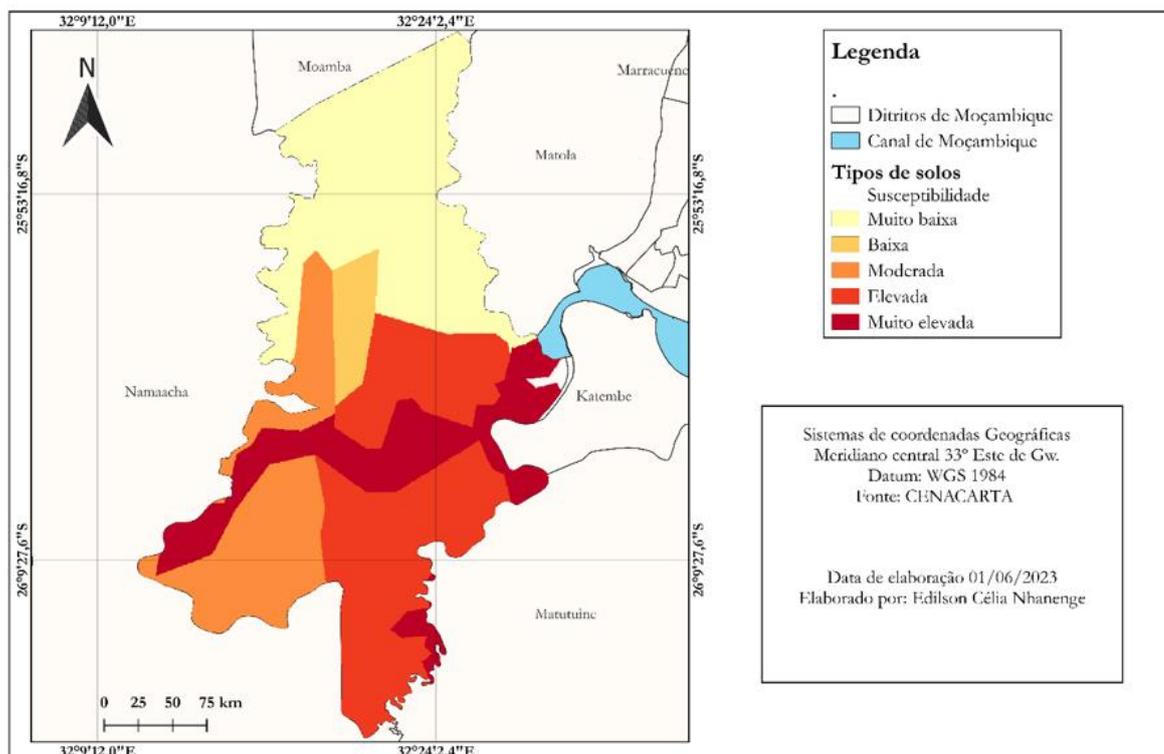


Figura 18. Mapa temático reclassificado dos tipos de solo no Distrito de Boane.

7. Uso e cobertura do solo

A dinâmica de ocupação dos espaços territorial tem a capacidade de influenciar directamente na ocorrência de inundações urbanas, uma vez que as áreas urbanizadas tende a apresentar um solo impermeável, o que dificulta a infiltração da água das chuvas. A vegetação apresenta o carácter de facilitar a infiltração das águas pluviais para o solo e diminuir a velocidade de escoamento superficial, reduzindo a capacidade de escoamento das águas pluviais.

O mapa temático 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 9 classes. As classes referentes ao mangal, aos corpos de água, as áreas semi-urbanizada, área agrícola, zona húmida e solo sem vegetação foram consideradas de maior contribuição à ocorrência de inundações. As classes referentes à vegetação densa, matagal e pradarias foram classificadas como as de menor contribuição para a ocorrência de inundações.

Tabela 13. Classificação e valoração das classes de uso e cobertura do solo.

Tipologia	Indicador	Reclassificação segundo o valor atribuído	Fonte
Vegetação densa	Muito baixa ou nula	1	Cury <i>et al.</i> (2021) e Maziva (2015)
Matagal	Baixa	2	
Prado	Moderada	5	
Área agrícola	Elevada	7	
Área Semi-urbanizada	Muito elevada	9	
Solo sem vegetação	Elevada	7	
Corpos de água	Muito elevada	10	
Zona húmida	Elevada	9	
Mangal	Muito elevada	10	

Mapa temático de uso e cobertura reclassificado

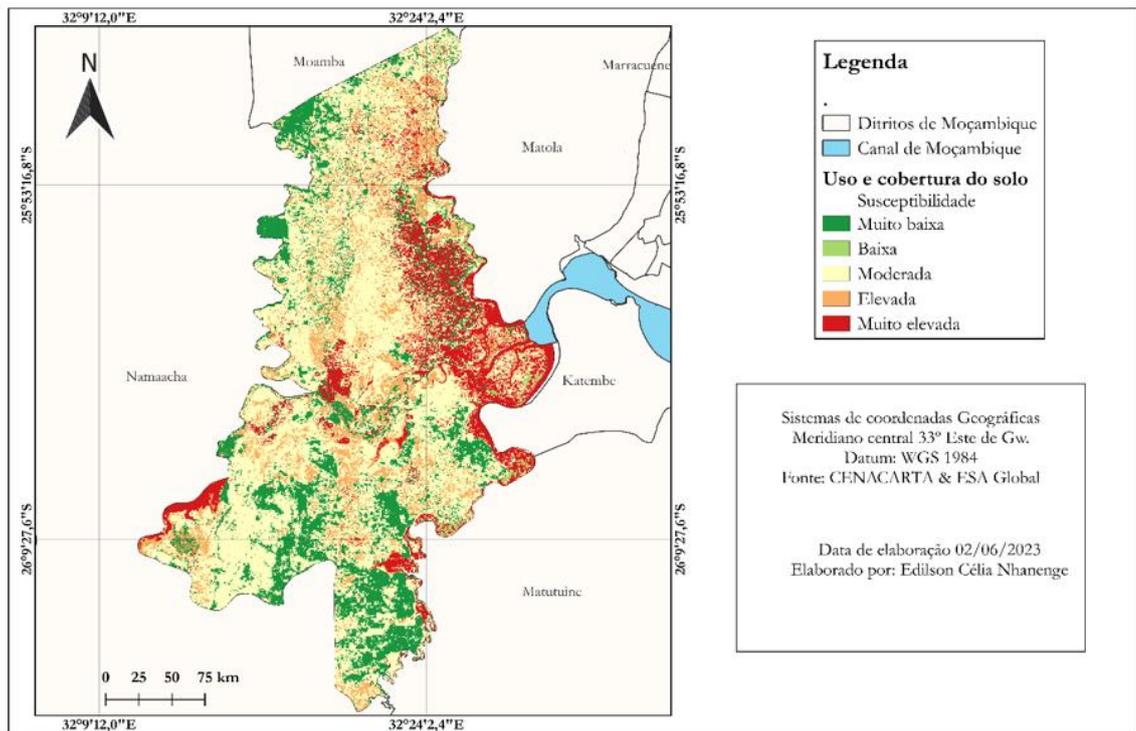


Figura 19. Mapa temático reclassificado das classes de uso e cobertura do solo do Distrito de Boane

3.2.3.2. Elaboração da matriz de comparação

Após a reclassificação, foi elaborada uma matriz de comparação (AHP), utilizando a escala fundamental proposta por Saaty (1980) (Tabela 1), definindo assim a importância entre os condicionantes, para tal utilizou-se o programa *AHP Calculator* disponibilizado no sítio: <https://bpmg.com/ahp/>. A matriz de comparação consiste na construção de uma matriz de comparação par a par de cada um dos factores.

Tabela 14. Matriz de comparação par a par.

Crítérios	Hipsometria	Declividade	Cursos de água	Temperatura	Precipitação	Tipos de solos	Uso e cobertura
Hipsometria	1,00	0,50	0,33	7,00	0,20	2,00	2,00
Declividade	2,00	1,00	0,50	3,00	0,33	3,00	3,00
Cursos de água	3,00	2,00	1,00	5,00	2,00	5,00	3,00
Temperatura	0,14	0,33	0,20	1,00	0,33	0,33	0,33
Precipitação	5,00	3,00	0,50	3,00	1,00	3,00	3,00
Tipos de solos	0,50	0,33	0,20	3,00	0,33	1,00	0,50
Uso e cobertura	0,50	0,33	0,33	3,00	0,33	2,00	1,00
Soma	12,14	7,49	3,06	25,00	4,52	16,33	12,83

Uma vez construída a matriz de comparação par a par, a actividade a seguir foi a normalização dos seus elementos. A mesma foi executada no *software* Microsoft Excel (2013). A normalização da matriz de comparação dos factores consiste em atribuir um novo valor a cada elemento da matriz de modo que a soma dos elementos da cada coluna seja igual 1. Para tal é feito o somatório dos valores de cada coluna, a seguir o valor de cada célula é dividido pelo resultado do somatório de sua respectiva coluna.

Tabela 15. Matriz de comparação par a par normalizada.

Crítérios	Hipsometri a	Declividad e	Cursos de água	Temperatur a	Precipitaçã o	Tipos de solos	Uso e cobertura
Hipsometri a	0,08	0,07	0,11	0,28	0,04	0,12	0,16
Declividade	0,16	0,13	0,16	0,12	0,07	0,18	0,23
Cursos de água	0,25	0,27	0,33	0,20	0,44	0,31	0,23
Temperatur a	0,01	0,04	0,07	0,04	0,07	0,02	0,03
Precipitação	0,41	0,40	0,16	0,12	0,22	0,18	0,23
Tipos de solos	0,04	0,04	0,07	0,12	0,07	0,06	0,04
Uso e cobertura	0,04	0,04	0,11	0,12	0,07	0,12	0,08
Soma	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

O factor Cursos de água exerce maior influência do que a temperatura, pois os cursos de água quando registam um aumento no seu caudal, tem a tendência de transbordar e isso aumenta a probabilidade de ocorrer inundações, sendo o factor temperatura considerado o menos influente.

3.2.3.3. Determinação dos pesos

Após a elaboração da matriz de decisão, foi possível obter o peso para cada factor. Para isto foi necessário realizar a divisão de cada factor pela somatória 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 (2013).

Tabela 16. Pesos dos factores

Factor	Pesos
Hipsometria	0,12
Declividade	0,15
Cursos de água	0,29
Temperatura	0,04
Precipitação	0,26
Tipos de solos	0,06
Uso e cobertura	0,08

3.2.3.4. Verificação da consistência

Calculados os pesos, a etapa a seguir é a determinação da 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%).

Para o cálculo da Razão de Consistência primeiro calcula-se o Maior Autovetor (λ_{max}) e posterior calcula-se o índice de consistência.

3.2.3.4.1. Maior Autovetor

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

$$\lambda_{max} = 12.14 * 0.12 + 7.49 * 0.15 + 3.06 * 0.29 + 25.00 * 0.04 + 4.52 * 0.26 + 16.33 * 0.06 + 12.83 * 0.08 = 7.204$$

3.2.3.4.2. Índice de consistência

Para o cálculo do Índice de consistência recorre-se a equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde n – é o número de factores.

$$IC = \frac{7.204 - 7}{7 - 1} = 0.034$$

3.2.3.4.3. Índice Randômicos (IR)

Recorrendo a tabela de Índices Randômicos proposta por Saaty (1987), de matrizes de ordem 1 a 15 (tabela 2), o índice randômico é: IR=1.32

3.2.3.4.4. Razão de consistência (CR)

A razão de consistência é calculada recorrendo a equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (\text{Equação 1})$$

$$RC = \frac{0.034}{1.32} = 0.0257$$

$$RC < 0.1 (10\%)$$

Com base no valor da razão de consistência é possível afirmar que a matriz de comparação é consistente, pois a mesma é menor que 10%. Segundo Saaty (1987) se o RC for inferior a 10% o grau de consistência é satisfatório, mas se o CR for superior a 10% podem existir erros de inconsistência e o método AHP não poderá ser utilizado.

3.2.3.5. Combinação dos factores

Depois de verificada a consistência do método, a análise da susceptibilidade às inundações foi finalizada através da combinação dos factores. 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:

$$SI = ((Cur@ * 0.29) + (Pre@ * 0.26) + (Dec@ * 0.15) + (Hip@ * 0.12) + (Uso@ * 0.08) + (Sol@ * 0.06) + (Tem@ * 0.04))$$

(Equação 3)

Onde: SI – Susceptibilidade às inundações.

Hip – Hipsometria.

Dec – Declividade.

Cur – Cursos de água.

Tem – Temperatura.

Pre – Precipitação.

Sol – Tipos de sol.

Uso – Uso e cobertura.

4. Resultados e Discussão

4.1. Resultados

Com o intuito de alcançar os objectivos traçados neste trabalho, desenvolveu-se um modelo de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane. Esse modelo é baseado em análises multicritérios em ambiente SIG e foi desenvolvido recorrendo a *softwares* livres (*open Source*). Este capítulo visa apresentar os resultados da pesquisa, assim como estabelecer uma relação destes com a situação real da área de estudo. Os resultados são apresentados sob forma de mapas, gráficos e tabelas.

4.1.1. Susceptibilidade às inundações Urbanas

O mapa da susceptibilidade às inundações urbanas 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 da susceptibilidade é apresentado a seguir (**figura 20**).

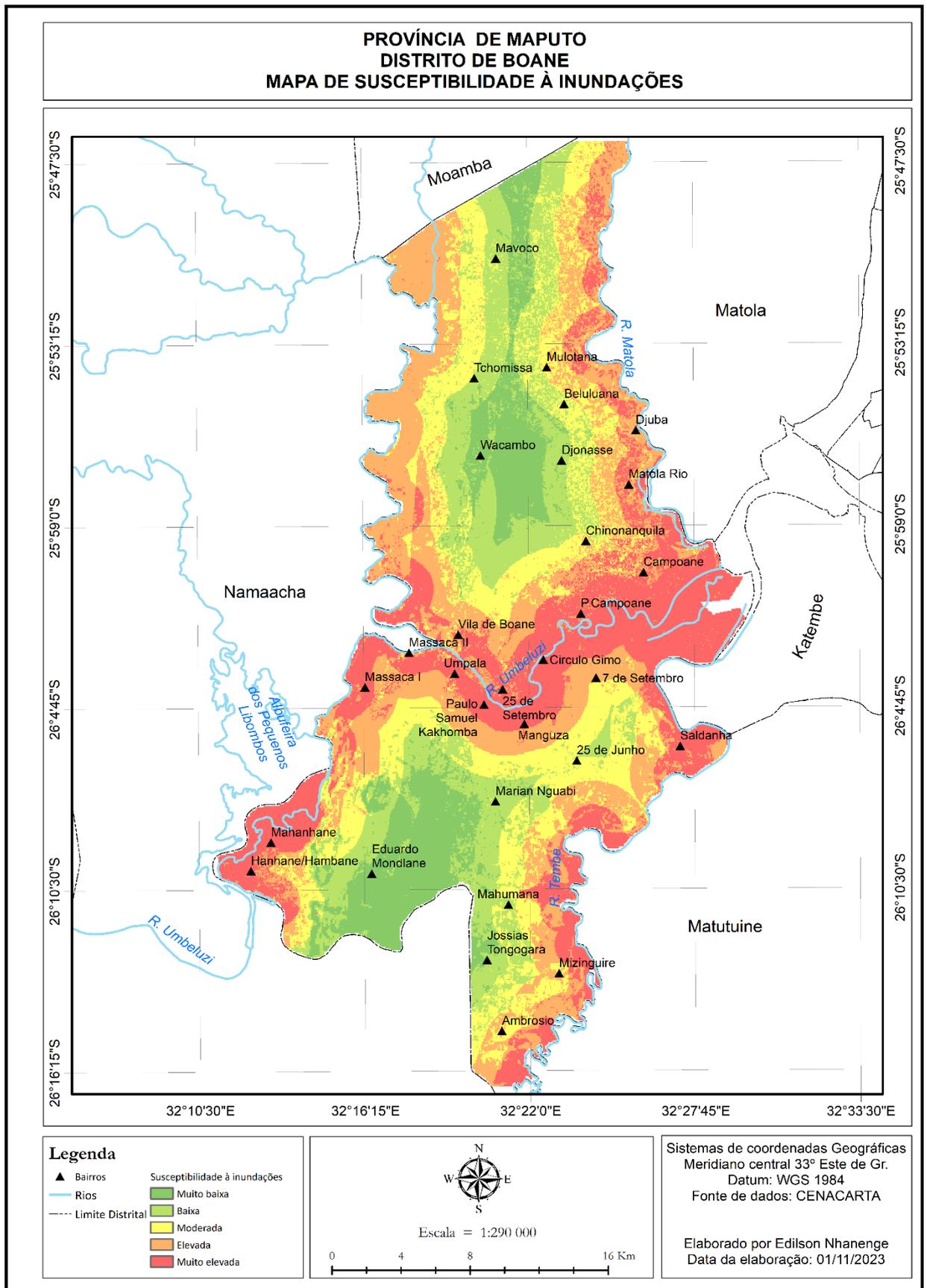


Figura 20. Mapa de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane.

O mapa obtido permite fazer uma análise da susceptibilidade a inundações. As regiões que apresentam uma susceptibilidade **muito baixa** às inundações estão representadas pela cor verde escura. E estão localizadas nas regiões mais elevadas do Distrito, apresentam um declive acima dos 15% e altitudes que variam do 128 – 160 m. Possuem solos arenoso, com boa drenagem das águas e encontram-se uma distância de mais de 7000 m dos cursos de água. Quanto a ocupação do solo, essas regiões são caracterizadas por uma vegetação densa. Nesta situação encontramos os bairros de Eduardo Mondlane, Wacambo e Jossias Tongogara.

As regiões que apresentam um grau de susceptibilidade às inundações **baixo** estão representados pela cor verde-claro. Essas regiões apresentam uma altitude que varia dos 96 – 128m, uma declividade na ordem dos 9 – 15%. Os solos de posto managa, que possuem uma boa drenagem das águas são predominantes nessas regiões. Os Matagais são o tipo de vegetação característico e essa região localiza-se a mais 4200m dos cursos de água. Os bairros de Djonasse, Tchomissa, Marian Nguabi e Mavoco encontram-se nessa situação.

As regiões com potencial **moderado** às inundações estão representadas por uma cor amarela e apresentam altitudes que variam entre 96-128 m. Encontram-se a uma distância superior a 2800 m dos cursos de água, a declividade varia entre 6-9 % e as pradarias são vegetação predominante nessa região. Os solos basálticos e riolíticos constituem os tipos de solos encontrados nas regiões em alusão. Temos aqui os bairros de Beluluana, Chinonanquila, 25 de Junho, Mahumana, Mulotana e Ambrosio

A susceptibilidade relativamente **elevada** às inundações está representada pela cor laranja, e encontramos em regiões com a altitude que variam de 32 – 64m, com uma declividade na casa dos 3–6%. Os solos sem vegetação e as zonas húmidas são tipo de uso predominante nas regiões em questão e quanto aos tipos de solos encontramos na região os solos de mananga. Essas regiões localizam-se a uma distância entre 1400 – 2800m dos cursos de água. Encontramos nesta situação os bairros de Campoane, Matola Rio, Miziguirri, Hanhane, Djuba e Saldanha.

As áreas com um potencial **muito elevado** de inundações estão representadas pela cor vermelha, apresentam uma altitude que varia de 0 – 32m, uma declividade de 0-3% e estão localizados a menos de 1400 m dos cursos de água. Nessas áreas encontramos solos com drenagem má, como são os casos dos Solos de aluvionares, Solos de sedimentos marinhos, solos das regiões próximas aos lagos e rios. Área Semi-urbanizada e os mangais são tipo de ocupação dos solos predominantes nas regiões. Os bairros e ou vilas que estão nessa situação são Mahanhane, Massaca 1, Massaca 2, Umpala, Vila de Boane, Paulo Samuel Kakhomba, 25 de Setembro, Manguza, Círculo Gimo, P. Campoane.

A classe que representa um potencial de susceptibilidade muito baixo às inundações, é a que apresenta menor abrangência espacial (área), correspondendo a 12,3% do território do Distrito de Boane. E a classe que representa uma susceptibilidade elevada a inundações, apresenta uma maior abrangência espacial, correspondendo a 25,7%.

Tabela 17. Tabela das áreas ocupada por cada classe de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane

Indicador	Percentagem (%)	Área (Km²)
Muito baixa	12,3	95,808
Baixa	18,8	146,636
Moderada	20,5	159,950
Elevada	25,7	199,921
Muito elevada	22,7	176,500
Total	100	778,905

Aproximadamente 49% do território do Distrito de Boane é susceptível às inundações. Cerca de 31% do território do Distrito apresenta uma susceptibilidade baixa a inundações. E 20% do território do Distrito tem um potencial moderado a susceptibilidade a inundações.

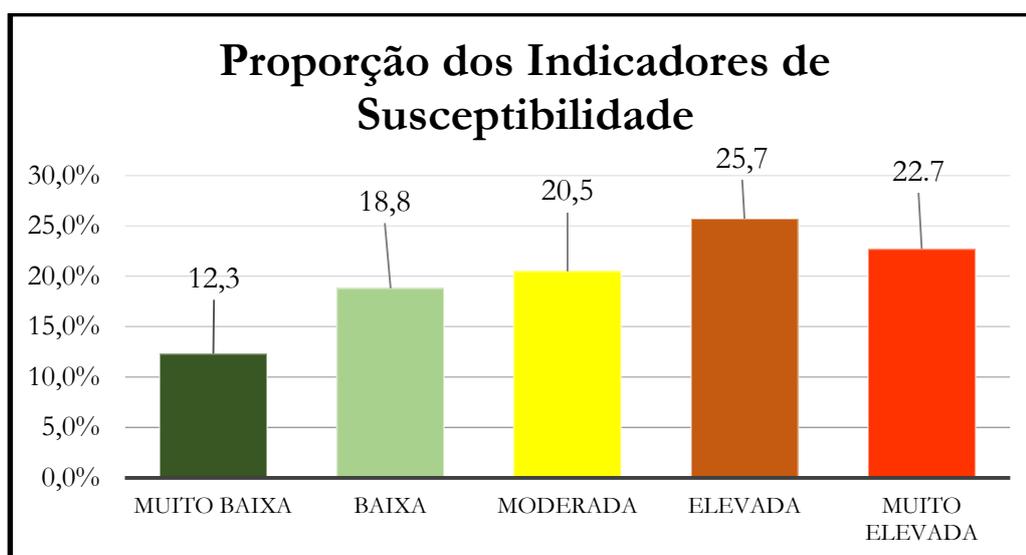


Figura 21. Gráfico da percentagem de cada área de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane

4.1.2. Validação dos resultados

A validação surge na necessidade de determinar se o modelo conceptual é uma representação exacta do sistema estudado, porque não basta demonstrar que o modelo preditivo se ajusta bem aos dados (Boyce et al. 2002).

Na validação pode-se verificar a precisão e a acurácia do modelo. **Precisão** significa que as informações medidas, presentes em um mapa estão de acordo ou muito próximas ao valor real, ou seja, que estão dentro da margem tolerável de diferença. E por sua vez **acurácia** é o posicionamento correto, a exatidão no parâmetro posicional de onde essa área se encontra (Mappa, 2021).

Na validação foi feita uma comparação pixels a pixels do mapa produzido com o mapa temático produzido pela Copernicus, afim de apurar se o modelo desenvolvido reflete a realidade da área de estudo.

Como resultado da validação foi gerada uma matriz de confusão. Matriz de confusão, é uma matriz quadrada de números dispostos em linhas e colunas que expressa o número de unidade de amostras (neste caso 396) atribuída a um determinado factor em relação ao factor real verificado no terreno.

As colunas da matriz referem-se as classes que produzidas pelo produtor, enquanto as linhas representam a interpretação das imagens de satélites. Valores da diagonal principal da matriz correspondem ao número de pixels que foram correctamente avaliados.

Tabela 18. Matriz de confusão

	3	4	5	6	7	Total	Acurácia do usuário	Área total de classe (Km ²)
3	1	0	0	0	0	1	1.0	95,80822
4	0	57	0	0	0	57	1.0	146,63569
5	0	0	119	1	0	120	0,99167	159,94987
6	0	0	0	159	2	161	0,98758	199,82124
7	0	0	0	0	57	57	1.0	176,50022
Total	1	57	119	160	59	396		778,90496
Acurácia do produtor	1.0	1.0	1.0	0,99379	0,96575			

Tabela 19. Tabela da precisão global

Precisão global	Precisão global em %
0.99242	99,2

Situação de cheias no distrito de Boane no dia 13/02/2023

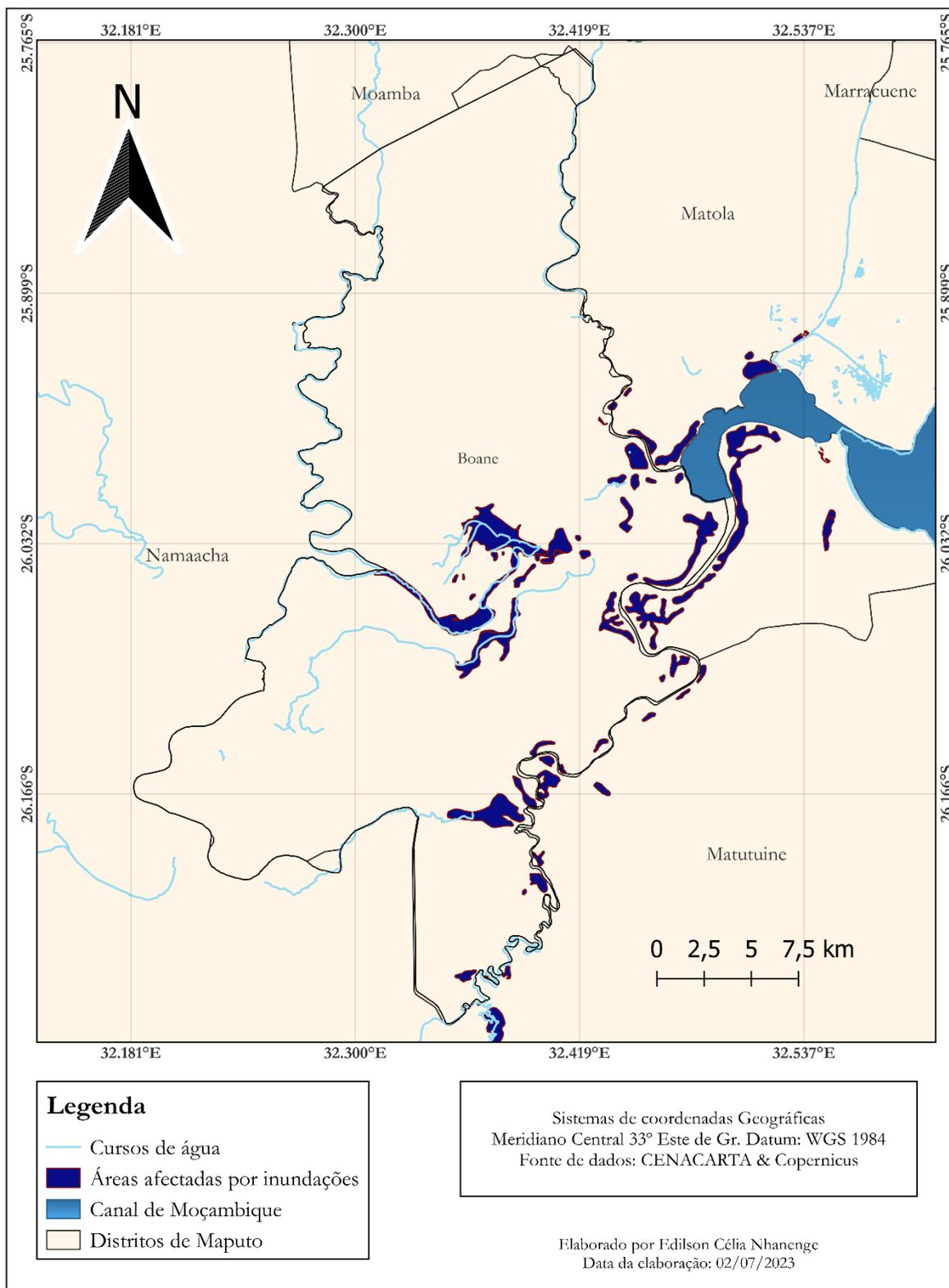


Figura 22. Mapa temático da situação das inundações em Boane (13-02-2023)

5. Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Neste trabalho foi aplicado um modelo de susceptibilidade às inundações baseado na análise multicritério em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica. Com o intuito de identificar as áreas susceptíveis às inundações no Distrito de Boane e fornecendo subsídios para o planeamento e gestão das áreas sujeitas a esse fenómeno.

As técnicas de geoprocessamento mostram-se ferramentas primordiais no estudo de questões sobre suscetibilidade, pois oferecem subsídios ao planeamento e a gestão territorial no quesito de medidas de prevenção que sejam eficazes e compatíveis com os anseios da população. Os *softwares*-SIG de código aberto são comumente usados em estudos de avaliação de impacto ambiental e na seleção de locais adequados para determinado fim.

A aplicação método de análise multicritério em ambientes dos sistemas de informação geográfica fornece uma ferramenta poderosa para a tomada de decisões em mapeamento da susceptibilidade a inundações, pois permitem um uso coerente e eficiente dos dados espaciais. A análise Multicritério, concretamente o método AHP usado no estudo, permitiu a produção dos resultados que mais se aproximam da realidade.

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 **0.0257**.

O factor cursos de água revelou-se o mais significativo na identificação das áreas susceptíveis às inundações dentre todos os factores analisados, já que as regiões próximas aos cursos de água apresentam maior susceptibilidade a inundações.

Existe uma diferença significativa no grau de susceptibilidade às inundações entre as áreas do Distrito de Boane. Em um total da área do Distrito de Boane, cerca de 48,4% desse território apresenta uma susceptibilidade elevada às inundações e 31,1% dessa área apresenta uma susceptibilidade às inundações baixa. Por sua vez 20,5% da área apresenta um potencial moderado a susceptibilidade a inundações.

O modelo de susceptibilidade às inundações no Distrito de Boane possibilitou definir as áreas mais susceptíveis a este fenómeno, indicando áreas prioritárias para a realização de políticas públicas e acções para a prevenção e mitigação dos efeitos das inundações.

O modelo aplicado poderá ser um recurso muito valioso para consultoria, agências de planeamento e governos locais na gestão de perigos/riscos, estimativas de danos, boa governança e esforços de remediação para mitigar riscos. A técnica aplicada neste estudo pode ser facilmente estendida a outras áreas, onde outros factores podem ser considerados, dependendo da disponibilidade de dados.

5.2. Recomendações

Apesar da validação do modelo ter registado uma acurácia global na ordem dos 99,2 %, uma pesquisa de campo é fundamental para a aferir se o modelo condiz com a realidade.

O reconhecimento de que o desenvolvimento não planeado e descontrolado, concretamente as ocupações desordenadas podem aumentar o risco de inundações. Portanto é fundamental adoptar políticas correctas de ocupação dos espaços. A sensibilização para esta questão das inundações não é da responsabilidade apenas das autoridades locais, mas de todos os intervenientes, abrangendo tanto o setor público como o privado, assim como a sociedade em geral.

Com a acelerada urbanização que o Distrito de Boane vem registando, é importante que a mesma esteja acompanhada de políticas adequadas para uma urbanização segura e responsável. A não obstrução das drenagens naturais é uma das medidas a ser adoptada pelas autoridades na redução dos factores de risco a inundações. O aprimoramento da infraestrutura de drenagem e criação de áreas verdes de retenção de água pluviais são outras medidas a ter em conta.

Recomenda-se uma actualização periódica dos modelos de susceptibilidade às inundações, uma vez que os factores que tornam uma área susceptível às inundações podem variar. A dinâmica de uso e ocupação do solo pode variar, o que pode tornar o solo impermeável, criando assim condições propícias para ocorrência de inundações.

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, E. R. (2015). Modelação hidrológica de inundações urbanas baseada em dados geoespaciais de alta resolução. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Lisboa.
- Bariar, A., Gupta, R., e Prasad, S. (2010). Desenvolvimento De Banco De Dados Geoespacial Para Uso De Planejamento Urbano - Dados De Satélite Sob Ambiente Gis. Allahabad-Índia: Departamento de Engenharia Civil-Instituto Nacional de Tecnologia de Motilal Nehru (MNNIT).
- Boyce, M., Vernier, P., Nielsen, S., e Schmiegelow, F. (2002). Evaluating Resource Selection Functions. Ecological Modelling. doi:157. 281-300. 10.1016/S0304-3800(02)00200-4
- BPMSG. (25 de Fevereiro de 2022). Sistema Online AHP - AHP-OS. Obtido de Sistema Online AHP - AHP-OS: <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?lang=pt>
- Caeiro, S. (2013). Sistemas de Informação Geográfica. LCA 1, 1-41.
- Camargo, D. M., Souza, N. M., Pacheco, T. C., Alcântara, G. C., e Dota, E. M. (Mar de 2017). Modelagem geoespacial para identificação de áreas vulneráveis ao contágio por doenças relacionadas a falta de saneamento: o caso da Região Metropolitana de Campinas. Revista Brasileira de Cartografia, 69(3), 561-73. Obtido em 11 de Dezembro de 2022, de <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44349/23431>
- Comissão Europeia. (20 de Junho de 2023). Inundação em Moçambique (2023-02-11). Obtido de data.europa.eu - The official portal for European data: <http://data.europa.eu/89h/43b12f10-cb7f-4efe-a813-5177b267ad2f>
- 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.
- 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>

- Droogers, P. e. (2014). Water allocation models for the Umbelúzi River Basin, Mozambique. Wageningen, The Netherlands: Report Future Water: 132. Obtido em 05 de Maio de 2023, de https://www.futurewater.nl/wpcontent/uploads/2015/01/WAM_ARASul
- European Commission. (2023). Flood in Mozambique (2023-02-11). Joint Research Centre (JRC). Obtido de <http://data.europa.eu/89h/43b12f10-cb7f-4efe-a813-5177b267ad2f>
- Ferreira, A. B. (2005). Geografia de Portugal. O Ambiente Físico, Círculo de Leitores, I.
- Franciane Carla de Almeida, E. M. (Jan/Fev de 2020). 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>
- Freitas, T. D., e Deponti, C. M. (Setembro a Dezembro de 2020). A Ruralidade e o Urbano: reflexões teóricas para a compreensão do Desenvolvimento Regional. Revista Política e Planejamento Regiona, 7(3), 341- 357.
- Governo da Província de Maputo. (16 de Novembro de 2016). Portal do Governo da Província de Maputo. Obtido em 24 de Maio de 2023, de <https://www.pmaputo.gov.mz/por/A-Província/Perfis-Distritais/Boane#>
- Governo de Moçambique. (2018). Plano Anual de Contingência, 2019.
- Hilário, L. I. (1996). Monografia do Distrito de Boane. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Eduardo Modlane, Departamento de Geografia, Maputo. Obtido em 17 de Setembro de 2022, de <http://monografias.uem.mz/browse?type=authorevalue=Hil%C3%A1rio%2C+Lolita+Ivone>
- Instituto Nacional de Estatística. (2017). Censo 2017. INE. Obtido de <https://www.ine.gov.mz>
- Jha, A. K., Bloch, R., e Lamond, J. (2012). Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI. Banco Mundial. Brasília: Banco Mundial.
- Júnior, N. I., e Filho, N. F. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. Em A. B. (ABGE), Geologia de Engenharia (pp. 131-152). São Paulo: Oliveira, A.M.S e Brito.
- Leal, M. (2019). Cheias e inundações urbanas: tipos, características e danos materiais. Centro de Estudos Geográficos, 131-146. Obtido em 01 de Dezembro de 2022, de <https://www.researchgate.net/publication/337331460>
- Lima, J. P., Fernandes Júnior, J. L., Ramos, R. A., e Lima, R. S. (2008). Processo hierárquico analítico na gestão da conservação de vias urbanas pavimentadas. Encontro Nacional De Engenharia De

- Produção - A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável, 28. Rio de Janeiro.
- MAE. (2005). Perfil do Distrito de Boane, Edição 2005. Ministério da Administração Estatal.
- MAE, M. d. (2005). Perfil do Distrito de Boane, Província de Maputo. Moçambique: Ministério da Administração Estatal.
- Mappa. (20 de Maio de 2021). Mapeamento com drones. Obtido de Mappa Ag: <https://mappa.ag/blog/precisao-e-acuracia-entenda-a-diferenca/>
- Mário, C. C., e Uacane, M. S. (jan-jun de 2023). Análise de riscos da inundação urbana na cidade da Beira-Moçambique. Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, Humaitá, XVI, 248-261.
- 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.
- Ministério da Terra e Ambiente. (2021). Guião Metodológico Para Gestão De Terras Urbanas: Gestão De Terras Urbanas. Maputo: Ministério da Terra e Ambiente.
- Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental - MICOA. (2004). Avaliação da Vulnerabilidade as Mudanças climáticas e Estratégias de Adaptação . Maputo: MICOA.
- Moçambique, G. d. (2019). Plano Anual de Contingência 2019-2020.
- MOPHRH, Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos. (2020). Guião Metodológico para Elaboração de Planos de Mitigação de Riscos: Drenagem, Enchentes e Erosão. MOPHRH.
- Moraes Novo, E. (2008). Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. Blucher.
- Moreira, M. (2012). Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. UFV.
- Nações Unidas. (31 de Março de 2017). ONU mobiliza-se com governo do Peru para socorrer vítimas das cheias. Obtido em 2023 de Setembro de 2023, de ONU News: <https://news.un.org/pt/story/2017/03/1581741>

- Nações Unidas. (4 de Outubro de 2018). OMS envia apoio de emergência devido a cheias que mataram 119 na Nigéria. Obtido em 28 de Setembro de 2023, de ONU News:
<https://news.un.org/pt/story/2018/10/1641242>
- 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>
- 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>
- Pinde, e. J. (s.d.). GIS in the Web era Cloud GIS. Web GIS: Principles and Applications. 312.
doi:<https://doi.org/9781589482456> 2010
- Ramos, C. (2009). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. Centro de Estudos Geográficos-UL.
- Ramos, C., e Oliveira, P. (2002). Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. Finisterra(37), 33-54. doi:<http://doi.org/10.18055/Finisterra37>
- RM. (9 de Fevereiro de 2023). Alerta: Possibilidade de agravamento de inundações em Boane, província de Maputo. Obtido em 2 de Abril de 2023, de Rádio Moçambique:
<https://www.rm.co.mz/alerta-possibilidade-de-agravamento-de-inundacoes-em-boane-provincia-de-maputo/>
- Rosa, R. (2013). Introdução ao Geoprocessamento. Uberlândia: UFU.
- 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.

- Sartori, A. A., Silva, R. F., e Zimback, C. R. (2012). Combinação Linear Ponderada na Definição de Áreas Prioritárias à Conectividade entre fragmentos Florestais em Ambiente SIG. Revista *Árvore*, 36(6), 1079-1090.
- Shrestha, A. B. (Janeiro de 2016). Banco de dados GIS para planejamento urbano. Journal of GES - Geospace, pp. 18-21. Obtido de Researchgate:
<https://www.researchgate.net/publication/341867979>
- 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
- Soico, G. (08 de Janeiro de 2023). Barragem dos Pequenos Libombos já está cheia e vai descarregar a qualquer momento. (O. País, Ed.) Moçambique. Obtido em 22 de Junho de 2023, de O País:
<https://opais.co.mz/barragem-dos-pequenos-libombos-ja-esta-cheia-e-vai-descarregar-a-qualquer-momento/>
- SOUSA, J. V., JERÔNIMO, 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=articleop=view>
- UNICEF. (20 de Março de 2019). Obtido em 12 de Fevereiro de 2023, de UNICEF: Mozambique:
<https://www.unicef.org/mozambique/comunicado-de-imprensa/1-milh%C3%A3o-de-crian%C3%A7as-afectadas-pelo-ciclone-idai-e-subsequentes-inunda%C3%A7%C3%B5es>
- Veiga, L. A., Zanetti, M. A., e Faggion, P. L. (2012). Fundamentos De Topografia. Paraná: UFPR.
- Verdade. (11 de Fevereiro de 2023). Chuvas intensas afectam 800 famílias em Boane, Namaacha e ETA do Umbelúzi. Obtido de <https://verdade.co.mz/chuvas-intensas-afectam-800-familias-em-boane-namaacha-e-eta-do-umbeluzi/>

7.1. Anexo 1: Aplicação do método AHP na tomada de decisão

Tomada de decisão multicritério usando o processo analítico hierárquico, foi realizada no programa *AHP Calculator*. Esta solução AHP gratuita é uma ferramenta web de suporte no processo de tomada de decisão. O programa permite fazer uma comparação a par a par dos factores, elaborando a matriz de decisão, calculando os pesos de cada factor e fornece também a razão de consistência.



Figura 23. Anexo 1 – Ilustração da matriz de decisão.

7.2. Anexo 2: Validação do modelo

Para a validação do modelo desenvolvido, foi usado plugin AcATaMa, nativo do Qgis. Onde foi possível obter a matriz de confusão (matriz de erro) e acurácia do modelo, conforme a Figura 24.

Analysis - Accuracy assessment results

Thematic map: Mapa_Susceptibilidade.tif
 Sampling file: Amostra_final.shp
 Estimator: Stratified estimator
 Response design state: 396/396 samples labeled

1) Error matrix:

Thematic map classes		Validation					Total	User accuracy	Total class area (km²)	Wi
		3 (Muito baixa)	4 (Baixa)	5 (Moderada)	6 (Elevada)	7 (Muito elevada)				
3		1	0	0	0	0	1	1.0	1.98478	0.00255
4		0	57	0	0	0	57	1.0	112.94719	0.14501
5		0	0	119	1	0	120	0.99167	235.14274	0.30189
6		0	0	0	159	2	161	0.98758	317.59484	0.40775
7		0	0	0	0	57	57	1.0	111.23541	0.14281
	Total	1	57	119	160	59	396		778.90496	
	Producer accuracy	1.0	1.0	1.0	0.99379	0.96575				

2) Accuracy:

Overall:

Overall Accuracy	Standard deviation
0.99242	-

Figura 24. Anexo 2- Ilustração da matriz de confusão.

7.3. Anexo 3: Copernicus

Serviço de Gestão de Emergências Copernicus — Mapeamento é um serviço financiado pela Comissão Europeia destinado a fornecer aos intervenientes na gestão de catástrofes naturais ou provocadas pelo homem, em especial as autoridades de proteção civil e os intervenientes na ajuda humanitária, produtos de cartografia baseados em imagens de satélite. Os dados das inundações no Distrito de Boane foram adquiridos no sítio: <http://data.europa.eu/89h/43b12f10-cb7f-4efe-a813-5177b267ad2f>, disponibilizado pela União Europeia, através das suas agências de investigação.

A Copernicus, através do serviço *Copernicus Emergency Management Service* (EMS), usa dados de satélites de observação da Terra, como os do programa Sentinel, para mapear áreas inundadas. Esses satélites capturam imagens de alta resolução que são processadas e analisadas para identificar mudanças na superfície terrestre, permitindo detectar áreas inundadas por meio de diferenças visíveis antes e depois de um evento de inundação. A figura 25 ilustra a situação das inundações em alguns Distritos da província de Maputo, no mês de fevereiro de 2023.

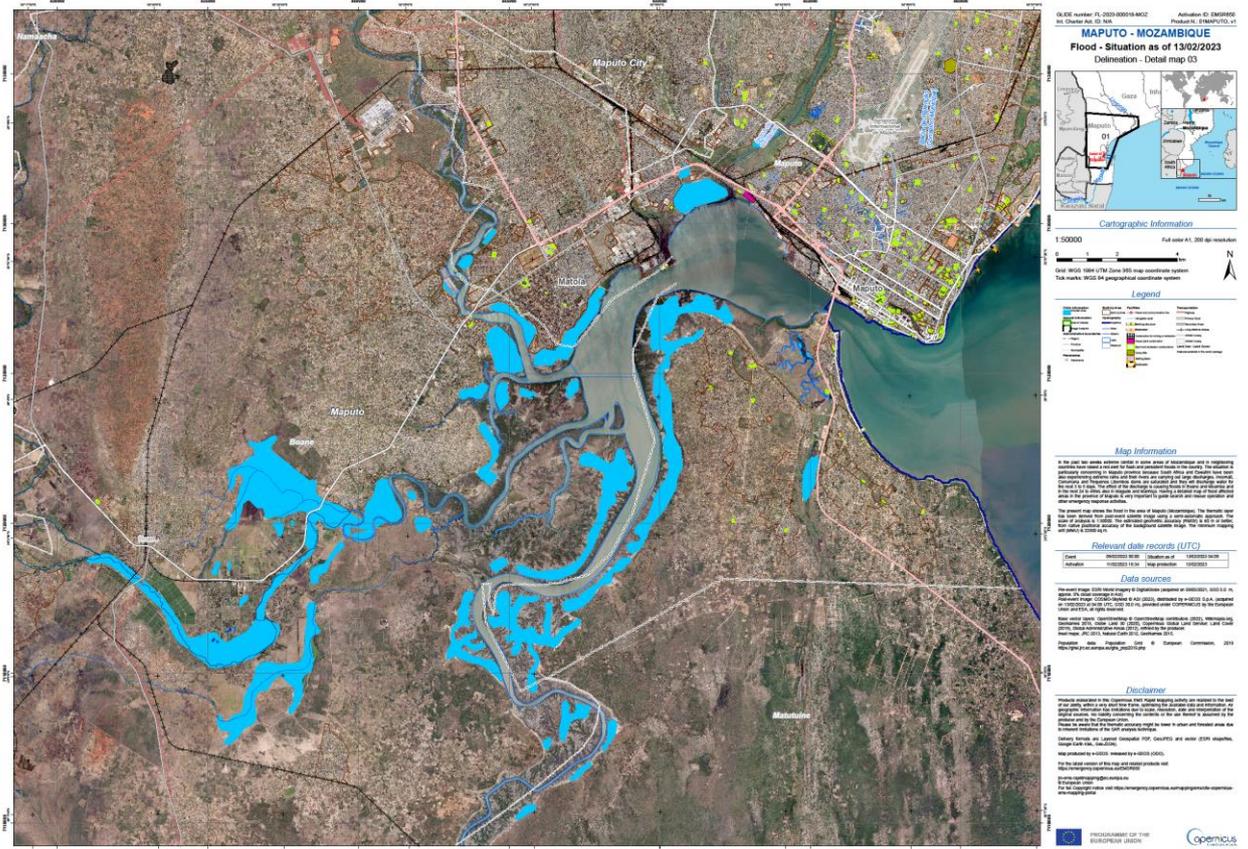


Figura 25: Situação de inundações em Maputo -11-02-2023. (Fonte: Comissão Europeia, Centro Comum de Investigação, 2023)

7.4. Anexo 4: Modelo Digital de Elevação

Um Modelo Digital de Elevação é um modelo que representa as diferentes altitudes da superfície topográfica levando em consideração as diferentes estruturas naturais e artificiais existentes. Existem diferentes tipos de modelos digitais de elevação, que se diferenciam um do outro de acordo com a fonte dos mesmos, no entanto a escolha do ideal depende da aplicação, ou seja, da acurácia e resolução requerida no detalhamento do mapa. Para este estudo foram usados os MDE STRM.

O MDE representado na figura 25, está codificado em níveis de cinza, que é a forma original dos dados brutos do MDE STRM.

Modelo Digital de Elevação

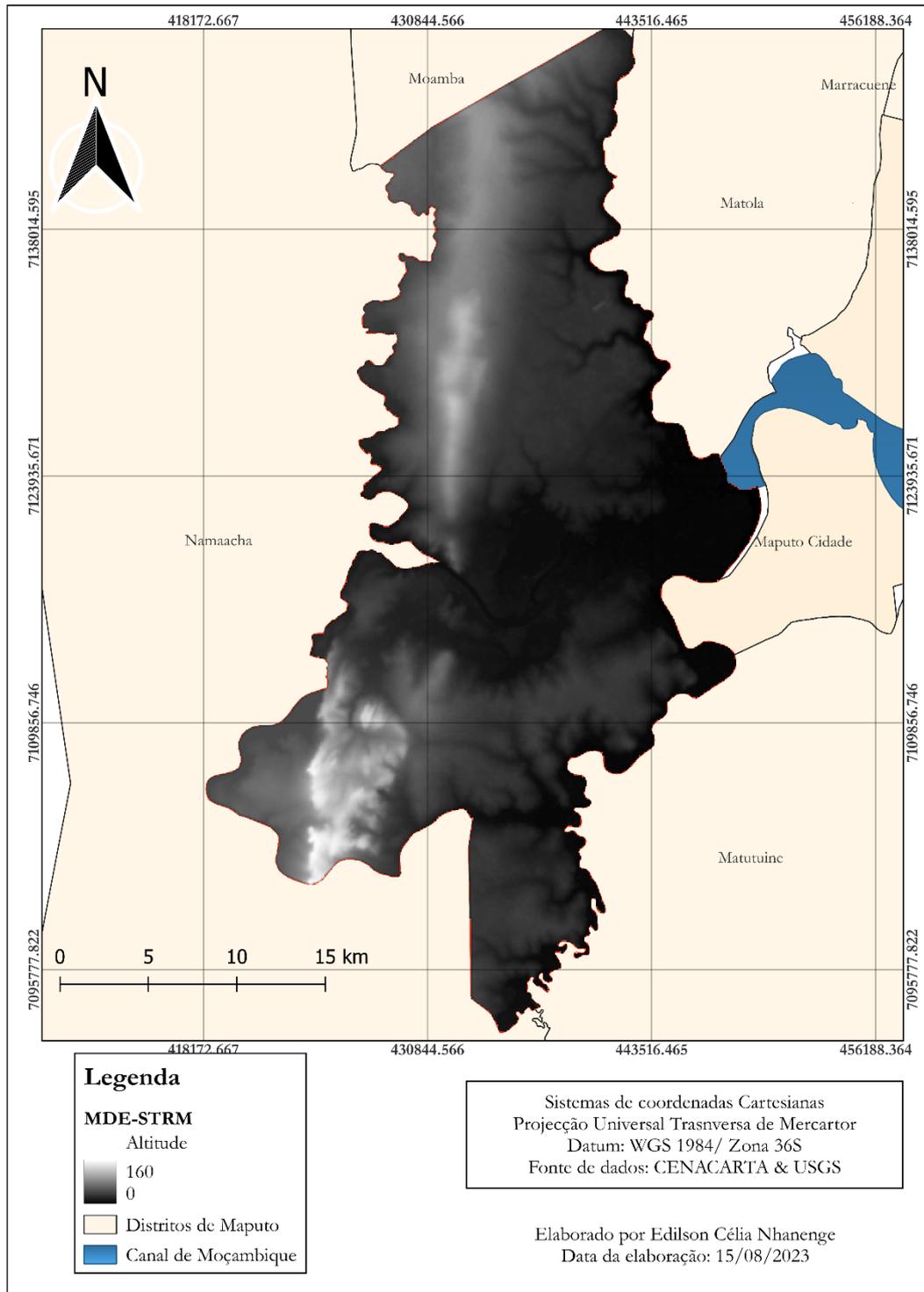


Figura 26. Modelo Digital de elevação