



FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Modelação da Vulnerabilidade ao Risco de Incêndio Florestal com
Integração de Sistemas de Informação Geográfica (Análise
Multicritério) e Detecção Remota (Análise Multi-espectral)**

Caso de Estudo: **Distrito de Matutuine**

Autora: Érika Marcelo Munguanaze

Maputo, Março de 2025



FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Modelação da Vulnerabilidade ao Risco de Incêndio Florestal com
Integração de Sistemas de Informação Geográfica (Análise
Multicritério) e Detecção Remota (Análise Multi-espectral)**

Caso de Estudo: **Distrito de Matutuine**

Autor: Érika Marcelo Munguanaze

Supervisora: Mestre, Inês Júlio Alfredo, UEM

Maputo, Março de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu Pai, Marcelo Viriato Munguanaze e a minha Mãe, Zaira Haruna Munguanaze que sempre estiveram do meu lado nesta caminhada.

Declaração de Honra

Eu, **Érika Marcelo Munguanaze**, 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 Licenciada em Ciências de Informação Geográfica, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Março de 2025

(Érika Marcelo Munguanaze)

Agradecimentos

Agradeço a Deus a cima de todas as coisas por todas as bênçãos alcançadas até aqui e por ter me sustentado e permitido chegar a este momento.

Expresso a minha gratidão a minha supervisora Mestre Inês Júlio Alfredo pelo suporte e disponibilidade durante o percurso académico e em fase da elaboração da monografia.

A Universidade Eduardo Mondlane, seu corpo docente, em particular afectos ao Curso de Licenciatura em Ciências de Informação Geográfica, que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Aos meus pais Marcelo Viriato Munguanaze e Zaira Haruna Seifo Munguanaze, meus irmãos Clávio Shelby Munguanaze e Laércio Kailas Munguanaze por me guiarem e sempre estarem presentes em minha vida mantendo-me forte para continuar a caminhada.

As minhas primas Cleide Domingos Cumbane e Wilma Lucas Guilamba, aos meus amigos em Cristo Heike Melani da Silva Boane Ferro e Octávio Cristina Mondlane pelo suporte espiritual.

Aos colegas de curso Noémia Sambo e em especial ao Fortunato Guirruço pelas dicas, puxões de orelha e pelas inúmeras experiências compartilhadas durante este percurso.

O meu muito obrigada!

Resumo

É fundamental conhecer os factores que contribuem para a ocorrência dos incêndios florestais e mapear áreas susceptíveis para degradação de florestas, com vista a permitir o desenvolvimento de programas específicos para a sua mitigação. Este estudo abordou o risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuine em Moçambique, tendo como objectivo aplicar um modelo de susceptibilidade aos incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento para o ano de 2023, dado que o Distrito foi assolado por este fenómeno. Para isso, foi utilizado o método de análise multicritério integrado aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e em seguida recorreu-se a análise comparativa dos factores condicionantes recorrendo a Análise Hierárquica de Processos com os dados de precipitação, temperatura, índice de humidade topográfica, uso e cobertura do solo, declividade, modelo digital de elevação, densidade populacional, vias de acesso e aspecto derivados de Detecção Remota. Na atribuição de pesos pelo método AHP constatou-se que a precipitação é o factor que mais contribui para a ocorrência de incêndios florestais e o modelo digital de elevação é o factor com menor impacto. Em um total de 5.403 km² da área do Distrito de Matutuine segundo o modelo desenvolvido cerca de 30.20% da área representa susceptibilidade baixa a incêndios e 36.99% da área apresenta uma susceptibilidade moderada apresentando a maior cobertura espacial do Distrito e por sua vez 32.81% da área apresenta susceptibilidade alta para a ocorrência de incêndios florestais. As áreas de risco alto, concentram-se nas regiões ao centro do Distrito, essas áreas apresentam uma vegetação mais densa e são altamente susceptíveis à ignição e propagação de incêndios devido às características do solo e à exposição a temperaturas elevadas. Para a validação do modelo foi usado o método de Razão de Consistência (RC) que obteve o resultado de 0.035 e apresentou uma consistência aceitável pois se encontra a baixo de 10%

Palavras-chave: Modelação Espacial, Vulnerabilidade, Risco de Incêndio, SIG.

Abreviaturas

AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
AMC	Análise Multicritério
CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e a Alimentação
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
KM	Quilómetros
MAE	Ministério de Administração Estatal
MICOA	Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental
MITADER	Ministério da Terra Ambiente e Desenvolvimento Rural
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
RMPPPO	Reserva Marinha Parcial da Ponta do Ouro
RC	Razão de Consistência
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TWI	Índice de Humidade Topográfica
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
WOPR	<i>WorldPop Open Population Repository</i>

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	x
Introdução.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Definição do Problema	2
1.3. Justificativa	3
1.4. Relevância do Estudo	4
1.5. Objectivos	5
1.5.1. Objectivo Geral.....	5
1.5.2. Objectivos Específicos.....	5
Área de Estudo.....	6
2.1 Localização Geográfica Do Distrito de Matutuine	6
2.2 Precipitação	7
2.3 Temperatura.....	8
2.4 Conservação e Gestão de Áreas Protegidas	9
Revisão de Literatura.....	10
3.1 Fogo e Incêndios Florestais.....	10
3.2 Risco de incêndios florestais.....	10
3.3 Tipos de incêndios florestais	11
3.3.1. Incêndios subterrâneo	11
3.3.2. Incêndios de superfície.....	11

3.3.3.	Incêndios de copa	11
3.5.	Factores ambientais que influenciam o comportamento do fogo	12
3.5.1.	Combustível.....	14
3.5.2.	Topografia do Terreno.....	14
3.6.	Susceptibilidade a Incêndios Florestais	15
3.7.1.	Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	15
3.7.2.1.	Aplicações de SIG no Monitoramento e Análise de Incêndios	16
3.8.1.1.	Aplicação da análise multicritério AHP na tomada de decisão	17
Material e Metodologia.....		22
4.1	Material	22
4.1.1.	Aquisição de dados	22
4.1.2.	Equipamentos Computacionais	23
4.2.	Processos metodológicos	23
4.2.1.	Fluxograma Metodológico.....	25
4.2.2.	Seleção e avaliação de factores	26
4.2.3.	Pré-processamento dos dados de entrada	26
4.2.3.1.	Atribuição de valores aos factores.....	26
Resultados e Discussão		48
5.1	Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal.....	48
Conclusões e Recomendações		51
6.1.	Recomendações	51
Referências Bibliográficas		52
Apêndices.....		56
Apêndice 1: Aplicação do método AHP na tomada de decisão		56
Apêndice 2 : Classificação dos incêndios florestais		57
Apêndice 3: Propagação do fogo: no aclave (a) e no declive (b).		58
Apêndice 4: Uso e Cobertura do Solo		59

Lista de Figuras

Figura 1: Localização geográfica do Distrito de Matutuine	6
Figura 2: Mapa da precipitação do Distrito de Matutuine	7
Figura 3: Mapa da temperatura do Distrito de Matutuine	8
Figura 4: Triângulo do fogo (Fonte: Teixeira Neto, 2011).	14
Figura 5: Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada. Fonte (Saaty, 1987)	19
Figura 6: Fluxograma simplificado dos procedimentos	24
Figura 7: Fluxograma Metodológico	25
Figura 8: Reclassificação do Modelo Digital de Elevação do Distrito de Matutuine.....	27
Figura 9: Distribuição das Áreas de Risco para o factor Elevação	28
Figura 10: Reclassificação da Declividade do Distrito de Matutuine	29
Figura 11: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Declividade	30
Figura 12: Reclassificação do Aspecto do Distrito de Matutuine	31
Figura 13: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Aspecto	32
Figura 14: Reclassificação do Uso e Cobertura do Solo do Distrito de Matutuine	33
Figura 15: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor uso e cobertura do solo	34
Figura 16: Reclassificação da Proximidade de Estradas do Distrito de Matutuine	35
Figura 17: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Proximidade de Estradas	36
Figura 18: Reclassificação da Precipitação do Distrito de Matutuine	37
Figura 19: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Precipitação	38
Figura 20: Reclassificação da Temperatura do Distrito de Matutuine	38
Figura 21: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Temperatura	39
Figura 22: Reclassificação da Índice de Humidade Topográfica do Distrito de Matutuine	40
Figura 23: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Índice de Humidade Topográfica	41
Figura 24: Reclassificação da Densidade Populacional do Distrito de Matutuine	42
Figura 25: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor densidade populacional.....	43
Figura 26: Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal e Áreas de Influência	48
Figura 27: Distribuição Percentual das Classes de Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal	50
Figura 28: Matriz de decisão.....	56
Figura 29: Incêndio subterrâneo (Fonte: Schumacher et al., 2013)	57
Figura 30: Incêndio de superfície (Fonte: Schumacher et al., 2013).....	57
Figura 31: Incêndio de copa (Fonte: Schumacher et al., 2013)	58
Figura 32: Propagação do fogo no active (a).....	58
Figura 33: Propagação do fogo no declive (b).....	58

Figura 34: Mapa de Uso e Cobertura do Solo	59
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 1: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP. Fonte: (Borja Pimenta et al., 2019)	18
Tabela 2: Índice Randômico Médio do AHP. Fonte: Saaty (1991)	20
Tabela 3: Descrição dos dados usados.....	22
Tabela 4: Equipamentos Computacionais.....	23
Tabela 5: Classificação e valoração das classes do Modelo Digital de Elevação. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)	27
Tabela 6: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o factor Elevação.....	28
Tabela 7: Classificação e valoração das classes da declividade. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)	28
Tabela 8: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Declividade	29
Tabela 9: Classificação e valoração das classes do Aspecto. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)	30
Tabela 10: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Aspecto	31
Tabela 11: Classificação e valoração das classes do uso e cobertura do solo. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)	32
Tabela 12: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Uso e Cobertura do Solo.....	33
Tabela 13: Classificação e valoração das classes da Proximidade de Estradas. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)	34
Tabela 14: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Proximidade de Estradas.....	35
Tabela 15: Classificação e valoração das classes da Precipitação. (Fonte: Eugenio et al., 2016)	36
Tabela 16: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Precipitação	37
Tabela 17: Classificação e valoração das classes da Temperatura. (Fonte: Eugenio et al., 2016).....	38
Tabela 18: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Temperatura	39
Tabela 19: Classificação e valoração das classes da Índice De Humidade Topográfica. (Fonte: Eugenio et al., 2016)	39
Tabela 20: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Índice de Humidade Topográfica	40
Tabela 21: Classificação e valoração das classes da Densidade Populacional. (Fonte: Eugenio et al., 2016)	41
Tabela 22: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Densidade Populacional	42
Tabela 23: Relação Variável e Sigla adoptada	43
Tabela 24: Matriz de comparação par a par	43

Tabela 25: Matriz de comparação par a par normalizada.....	44
Tabela 26: Pesos de cada factor	44
Tabela 27: Determinação do Autovector	45
Tabela 28: Classe de Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal.....	49

Introdução

Este capítulo tem como objectivo apresentar o contexto da pesquisa, o porquê de desenvolver o estudo, a justificativa, a relevância e os objectivos.

1.1. Contextualização

Segundo PAPCQD (2007) em Moçambique, os incêndios florestais constituem um dos problemas ambientais que preocupa toda a sociedade, agravado pelos índices elevados de pobreza em que vive a maioria da população rural e periurbana do país. O problema dos incêndios florestais está relacionado com práticas de actividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso principalmente em grandes aglomerados populacionais, questões socioculturais, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade de solos, entre outros.

Para Conjo (2021) os incêndios florestais representam uma ameaça significativa a economia local e a subsistência das comunidades. Além das perdas imediatas de produção, há impactos a longo prazo em sectores como saúde, turismo e segurança alimentar.

Diante do exposto, o objectivo deste estudo foi modelar as áreas de vulnerabilidade ao risco de incêndios florestais na região sul de Moçambique, concretamente no Distrito de Matutuine utilizando análise multicritério AHP.

Saaty (1994), considera que os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, a AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão. Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo (Grandzol, 2005).

Com a crescente incidência de incêndios, impulsionada por factores climáticos e humanos, é fundamental utilizar abordagens que integrem tecnologias avançadas. Segundo Fava *et al.*, (2020), a combinação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Detecção Remota possibilita uma análise mais precisa dos factores de risco, permitindo intervenções mais eficazes.

1.2. Definição do Problema

Na maioria dos países tropicais assim como em Moçambique a área florestal tende a reduzir com o passar do tempo a um ritmo acelerado (MICOA, 2007). De acordo com o Notícias24 (2023) e o MMO Notícias (2021), o Distrito de Matutuine tem sido assolado, nos últimos anos, pelos incêndios florestais, em sua maioria causadas pela acção humana. Esses incêndios continuam a ameaçar à vegetação e à fauna da região. Somente no primeiro semestre de 2023, cerca de 1.200 hectares de floresta foram destruídos por incêndios no Distrito, com o risco iminente de propagação do fogo caso medidas urgentes não sejam adoptadas. O distrito abriga o Parque Nacional de Maputo, uma área de conservação, e à medida que os incêndios se espalham por diferentes pontos de Matutuine, aumenta-se também o risco de o fogo atingir as residências das comunidades locais, além de provocar o empobrecimento do solo nos campos agrícolas e prejudicar o ecossistema. Para as autoridades comunitárias locais, os incêndios no distrito estão frequentemente associadas à actividade de pastoreio, onde os pastores utilizam o fogo com a intenção de regenerar a vegetação do pasto. Outro factor relevante é a produção de bebidas tradicionais à base de palmeiras, em que, durante o processo de extração, ocorrem incêndios acidentais.

Dessa forma, a modelação das áreas de risco de incêndios florestais é essencial, pois possibilita a identificação e priorização das regiões mais críticas, facilitando a implementação de medidas preventivas que visem mitigar os danos ambientais e proteger tanto o ecossistema quanto as comunidades locais.

A combinação de factores naturais e antropogénicos determina o risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuine?

Hipótese Nula (H0): Os incêndios florestais no Distrito de Matutuine não são influenciados por factores naturais e antropogénicos.

Hipótese Alternativa (H1): Os incêndios florestais no Distrito de Matutuine são influenciados por factores naturais e antropogénicos.

1.3. Justificativa

O ecossistema do Parque Nacional de Maputo encontra-se ameaçado pela destruição da vegetação nativa e pela morte de diversas espécies de fauna que dependem dos habitats locais para sua sobrevivência. Nesse contexto, a modelação das áreas de risco torna-se uma ferramenta essencial para a identificação e priorização das regiões mais críticas, com o objetivo de evitar danos ambientais ainda mais graves. De acordo com (Bacani, 2016), áreas de risco de incêndio florestal são aquelas onde há uma alta probabilidade de ocorrência e propagação rápida de incêndios. A avaliação dessas áreas vulneráveis e a implementação de soluções eficazes são viáveis apenas por meio da elaboração de um mapa de zonas de risco, que serve como base para a criação de estratégias de prevenção e mitigação dos riscos.

Dessa forma, o presente estudo tem como objectivo modelar as áreas vulneráveis ao risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuíne. A escolha desta área justifica-se pela biodiversidade e pela crescente ameaça de incêndios. Para alcançar o objectivo será empregue a técnica AHP, utilizada amplamente na tomada de decisão através de atribuição de pesos a diferentes factores com base na sua relevância. Assim, a metodologia adoptada, aliada ao uso de ferramentas de geoprocessamento aplicadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Detecção Remota, permitirá a identificação das zonas mais vulneráveis, fornecendo dados fundamentais para a elaboração de estratégias preventivas que visem à protecção do meio ambiente e das comunidades locais.

1.4. Relevância do Estudo

A ausência de estudos focados na modelação da vulnerabilidade aos riscos de incêndios florestais na região sul de Moçambique, especificamente no Distrito de Matutuine, motivou a realização deste estudo, cujo objetivo é modelar as áreas vulneráveis ao risco de incêndios florestais nesta área. Dessa forma, a pesquisa apresenta uma relevância económica, social e científica para o referido distrito. Do ponto de vista económico, a relevância do estudo está atrelada à necessidade de preservar os recursos naturais e a agricultura, pois o Distrito de Matutuine é uma região com actividades agrícolas de grande importância. A ocorrência frequente de incêndios florestais pode comprometer a estabilidade económica da comunidade, gerando, assim, um impacto direto na segurança social, uma vez que a população se torna vulnerável a perdas materiais significativas.

No âmbito científico, este estudo propõe uma metodologia baseada na AHP para preencher as lacunas existentes na compreensão da susceptibilidade ao fogo na região. A pesquisa visa a construção de um mapa de susceptibilidade, cujas classes, distribuídas em diferentes níveis hierárquicos, identificam as áreas mais propensas à ocorrência de incêndios florestais. Estes resultados fornecerão informações cruciais para a formulação de políticas de prevenção e para a tomada de decisões estratégicas voltadas ao controle e mitigação dos incêndios florestais na região.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

Aplicar um modelo de vulnerabilidade ao risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento no Distrito de Matutuine no período referente ao ano de 2023.

1.5.2. Objectivos Específicos

- Realizar o pré-processamento dos parâmetros de modelação de risco de incêndios florestais;
- Determinar o peso de cada parâmetro identificando sua importância relativa na modelação do processo de ignição de incêndios florestais;
- Aplicar o modelo de vulnerabilidade aos incêndios florestais no Distrito de Matutuine;
- Produzir um mapa de risco que representa a variabilidade espacial do risco de incêndio no Distrito de Matutuine.

Área de Estudo

2.1 Localização Geográfica Do Distrito de Matutuine

O Distrito de Matutuine está localizado no extremo Sul da Província de Maputo e do País, aproximadamente entre os paralelos 26° e 27° de latitude Sul e entre 32° e 33° de longitude Este. A Norte é limitado por Namaacha, Boane e Cidade de Maputo, a Sul pela República da África do Sul, a Este é banhado pelo Oceano Índico, e a Oeste confina com o Reino da Suazilândia (MAE, 2012).

O Distrito de Matutuine ocupa actualmente uma superfície territorial de 5.403 km² com uma população de 42.424 habitantes, correspondendo uma densidade populacional de 7,9hab/km² (MAE, 2012).

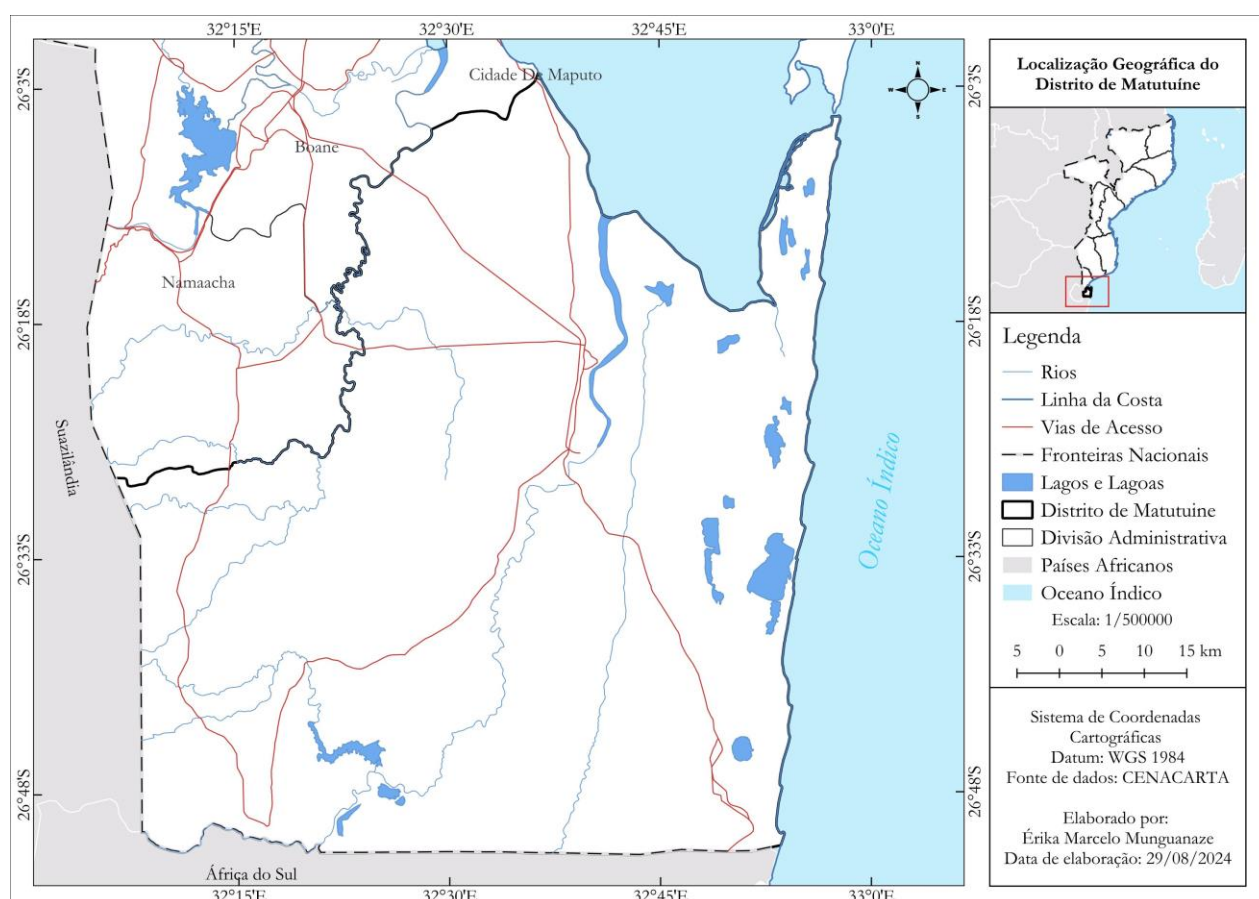


Figura 1: Localização geográfica do Distrito de Matutuine

2.2 Precipitação

Segundo (MAE, 2012) a precipitação média mensal do Distrito de Matutuine apresenta uma variação sazonal relevante destacando-se:

- um período húmido, entre Novembro e Abril, onde ocorre um valor de precipitação equivalente a cerca de 70 % do valor total anual da precipitação, sendo o mês de Janeiro o mês mais chuvoso com precipitação média mensal de cerca de 130 mm;
- um período seco entre Maio e Outubro com médias mensais de precipitação menores de 50 mm, sendo os meses mais secos os meses de Julho e Agosto com precipitações médias mensais de cerca de 13 mm.

A precipitação média anual em Maputo é de 768 mm havendo, contudo, uma variação anual significativa. A evapotranspiração tem um valor anual de 1190 mm. Mensalmente a precipitação só é superior à evapotranspiração durante 4 meses do ano, de Dezembro a Março.

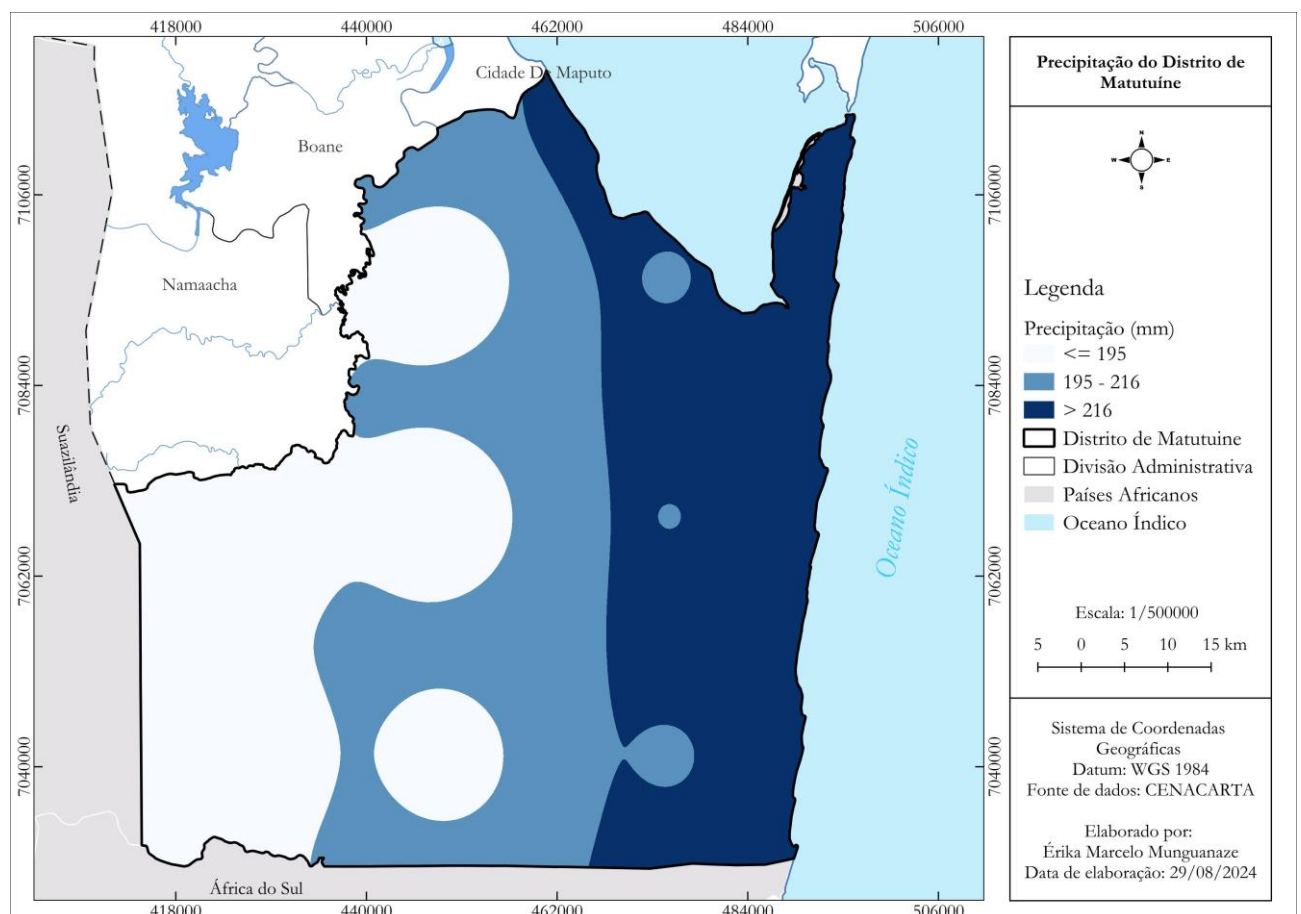


Figura 2: Mapa da precipitação do Distrito de Matutuine

2.3 Temperatura

A temperatura média anual é de 22,9 °C, ocorrendo uma semi-amplitude térmica anual relativamente baixa, de cerca de 3,45 °C. Fevereiro é o mês mais quente com 26,0 °C e Julho o mais frio com 19,1 °C.

No sistema de ventos predominam os ventos de Sul durante todo o ano, variando de Norte na época fresca e de nordeste na época quente. A média anual da velocidade dos ventos é de 14,1 km/h sem grandes variações na velocidade média mensal dos ventos. Distinguem-se assim dois períodos com os seguintes ventos dominantes e velocidades médias:

- nos meses de Abril a Agosto com ventos de Sul e Norte (13,3 km/h);
- nos meses de Setembro a Março com ventos de Sul e Nordeste (14,7 km/h).

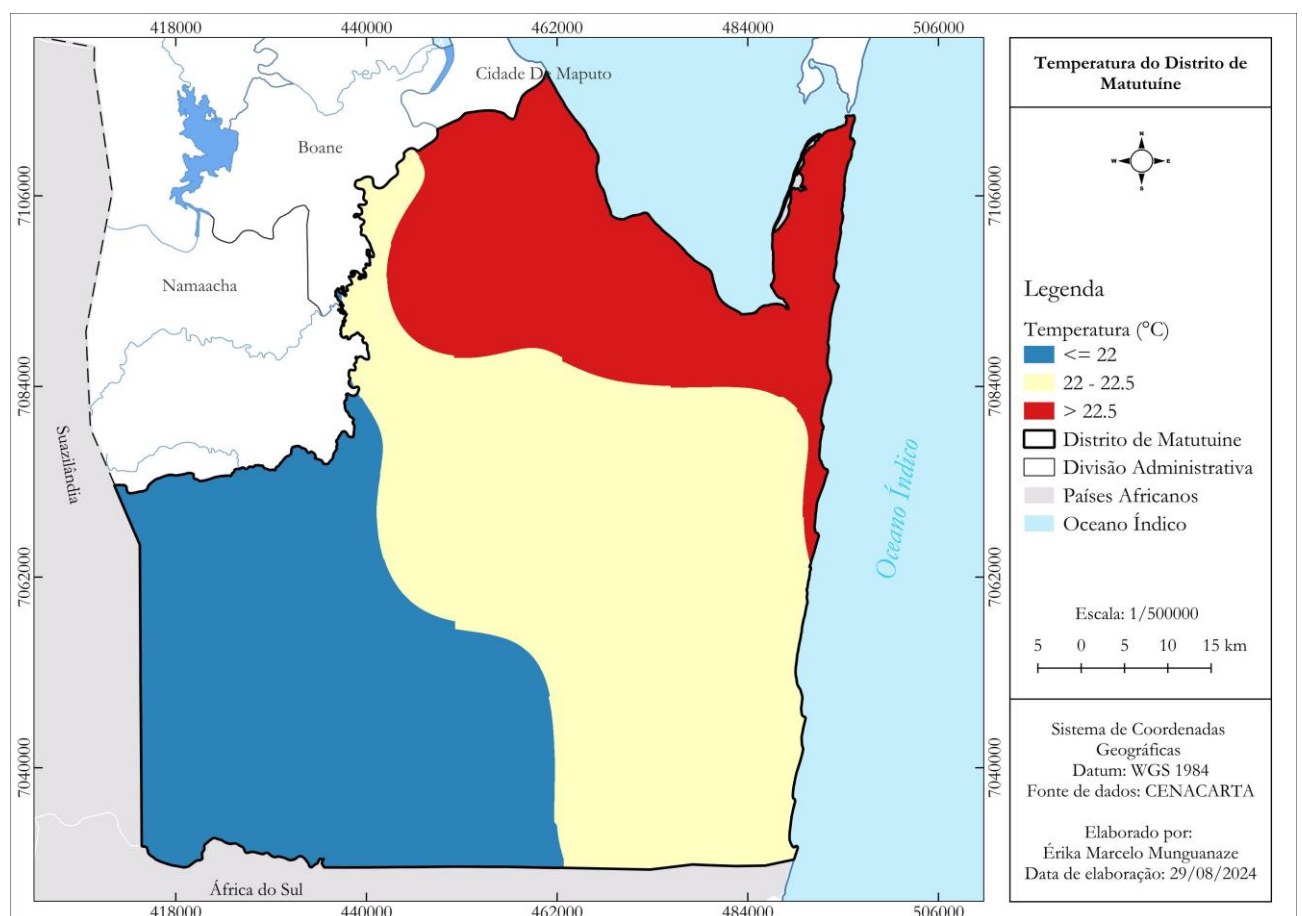


Figura 3: Mapa da temperatura do Distrito de Matutuine

2.4. Conservação e Gestão de Áreas Protegidas

Segundo (MAE, 2012) para permitir a preservação da riqueza biológica, existem no Distrito de Matutuine 3 áreas de conservação, nomeadamente a Reserva Marinha Parcial da Ponta do Ouro, a Reserva Especial de Maputo e a Reserva Florestal de Licuáti.

A Reserva Especial de Maputo foi proclamada em 1960 e tem uma área de 700 Km². O centro de endemismo de Maputaland engloba a área da reserva e justifica-se pela diversidade de comunidades de plantas, a variedade de espécies de peixes, aves, mamíferos e pela beleza cénica. Embora esta tenha sido criada para protecção e conservação do elefante, nela habitam hipopótamos, changos, cabrito cinzento, chipenes e chacais. As aves são variadas e abundantes, sendo de destacar o pato-coelho, abetarda de pescoço alaranjado e gaivina do Ártico. Em termos de vegetação, inclui matagais e florestas do litoral, as pradarias e vegetação ribeirinha e as pradarias arborizadas.

A Reserva Florestal do Licuáti foi estabelecida em 1943 e tem sido preservada por razões culturais embora ocorram abates descontrolados de árvores. A sua vegetação é caracterizada por matagais e florestas arenosas compostas maioritariamente pela espécie *Azvelia quanzensis*, *Balanites maughamii* e *Hymenocardia ulmoides* (Bandeira *et al.*, 2006). Esta floresta tem cerca de 13% das plantas vasculares do centro de endemismo de Maputaland sendo as famílias Rubiaceae, Fabaceae e Celestraceae que contribuem em maior número de espécies endémicas.

A Reserva Marinha Parcial da Ponta do Ouro (RMPPPO), criada em Agosto de 2009 (Decreto No. 42/2009, de 21 de Agosto), com uma superfície total de 678 km², pretende conservar e proteger espécies marinhas e costeiras, e seus habitats, incluindo as dunas primárias da praia que se estende da Ponta do Ouro à Ilha da Inhaca, abrangendo as pontas proeminentes de Malongane, Madejanine, Mamoli, Techobanine, Dobela, Milibangalala, Membene, Chemucane, Mucumbo, Gomeni e Abril. A RMPPPO estende-se para o interior numa linha recta de 100 m e tem uma extensão de 3 milhas náuticas no sentido do mar, incluindo porções da Baía de Maputo até à foz do Rio Maputo.

Revisão de Literatura

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

3.1 Fogo e Incêndios Florestais

O fogo é um componente natural de muitos ecossistemas florestais, porém os incêndios florestais podem representar ameaças significativas à segurança pública e dos recursos florestais (Martell, 1998).

Segundo Rawat (2003) fogo é uma rápida combinação de combustível, calor e oxigénio, (Cochrane e Ryan, 2009) numa perspectiva mecânica é simplesmente o calor e a luz gerada pela combustão. A combustão é acompanhada pela libertação de grandes quantidades de calor. No entanto uma fonte externa de calor é necessária para iniciar um fogo (Davis, 1959)

Existe a necessidade de distinção entre os conceitos de fogo e incêndio florestal. Segundo Morgera e Cirelli (2009) incêndio florestal é portanto, qualquer fogo não planeado e descontrolado, que ocorre em espaços florestais independentemente da fonte de ignição. Um incêndio florestal é definido pela FAO como qualquer ocorrência de fogo em áreas naturais, exceptuando fogos controlados (FAO, 2012). Na mesma linha ICMBIO (2010) refere que incêndio florestal é todo fogo sem controlo que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligência) como por causa natural. Para Cochrane e Ryan (2009) incêndio florestal referem-se a todos os fogos não estruturados em regiões com nenhum ou pouco desenvolvimento..

3.2 Risco de incêndios florestais

Segundo Peterson (2001), o risco de incêndio florestal é a probabilidade de ocorrência e a severidade potencial de incêndios em uma determinada área, considerando a combinação de factores ambientais, climáticos e humanos que influenciam a probabilidade de ignição e a propagação do fogo.

Já Soho (1999) define o risco de incêndio florestal como a chance de um incêndio começar em função da ocorrência de agentes que possibilitem a ignição do fogo, e o perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio acrescido pelas variáveis climáticas, topográficas e condições dos materiais combustíveis.

3.3 Tipos de incêndios florestais

Os incêndios florestais são classificados conforme sua forma de aparecimento (Goldammer, 1982). Segundo (Ribeiro, 2002), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios se baseia no grau de envolvimento de cada estrato do combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores, no processo da combustão. Nesse caso, os incêndios são classificados em subterrâneos, superficiais e de copa.

3.3.1. Incêndios subterrâneo

Os incêndios subterrâneos são no geral aqueles caracterizados por propagar-se através das camadas de húmus ou turfa existente sobre o solo mineral e abaixo do piso da floresta, sendo definidos pelo fogo que queima sob a superfície do solo, devido à grande acumulação de matéria orgânica (Goldammer, 1982).

Os incêndios subterrâneos são de grande importância pois, apesar destes serem de avanço lento, por proporcionarem pouca fumaça há praticamente uma ausência de chamas e são difíceis de detectar, o que faz com que proporcionem grandes danos às raízes e à fauna do solo, causando a sua morte e desta levando à morte das árvores (Schumacher *et al.*, 2018). Esses incêndios propagam-se lentamente e com intensidade destruidora uniforme, o que faz com que comprometa parcialmente a fertilidade do solo e o solo deixando-o susceptível à erosão (Soares, 1985).

Segundo Ribeiro (2002) devido à dificuldade em combater esse tipo de incêndio, ele pode abranger áreas extensas e caso haja condições também pode transformar-se em incêndio superficial, sendo que, na mesma sequência um incêndio superficial também pode se transformar em incêndio subterrâneo.

3.3.2. Incêndios de superfície

Schumacher *et al.* (2018) denominam incêndios superficiais como os que ocorrem na superfície do piso florestal, consumindo as plantas e demais componentes da serapilheira em diferentes estágios de decomposição, tais como folhas, galhos, estruturas de reprodução, todo o material combustível até cerca de 1,80 m de altura. O material presente até a altura de 1,80 m normalmente é composto por material de pequena espessura, geralmente bastante inflamável (Ribeiro, 2002). Essa característica do material combustível, aliada a outras características como, por exemplo, a direção e intensidade do vento, ou ainda o grau de inclinação do terreno, podem proporcionar incêndios florestais superficiais, caracterizados por uma propagação relativamente rápida, abundância de chamas e muito calor.

3.3.3. Incêndios de copa

São considerados incêndios de copa os que queimam combustíveis acima de 1,80 m de altura. Com exceção de casos excepcionais, como raios, todos os incêndios de copa originam-se de incêndios

superficiais. Esse tipo de incêndio, é característico o consumo pelas chamas de toda a folhagem, e geralmente a morte das árvores atingidas pelas chamas (Schumacher *et al.*, 2018). As condições fundamentais para que ocorra incêndios de copa são folhagem, combustível e presença de vento para transportar o calor de copa em copa. Esses incêndios propagam-se rapidamente, liberando grande quantidade de calor, e são sempre seguidos por um incêndio superficial. Isso porque os incêndios de copa espalham fagulhas em outros materiais, que acesos irão gradativamente queimando a vegetação rasteira e demais materiais combustíveis na superfície do solo.

3.4. Causas dos Incêndios Florestais

Rawat (2003), Cochrane e Ryan (2009) referem que os fogos florestais podem ser classificados segundo a sua origem e portanto podem ser naturais ou antropogénicos. Quanto aos incêndios de origem natural o clima e a cobertura vegetal são as principais razões para a ocorrência de um incêndio florestal (Rawat, 2003)

Chuvieco (2009) refere que a seca prolongada e as altas temperaturas na estação de verão são os condutores típicos que demarcam a fronteira temporal e espacial da época dos incêndios. A ignição pode igualmente ser causada por raios, durante as tempestades, ou faíscas produzidas pela queda de pedras e deslizamentos de terras (Rawat, 2003)

No entanto no que diz respeito a incêndios causados pelo homem (Cochrane e Ryan, 2009) afirmam que estes podem ser acidentais ou intencionais.

A prática da queima da vegetação natural, com finalidades diferentes, tem origens muito remotas. Ao longo da história, o fogo tem sido usado em alguns sistemas socioeconómicos como uma forma de regenerar as pastagens, eliminação de espécies de animais nocivos, suprimindo a vegetação natural para transformar em áreas agrícolas (Chuvieco, 2009). Os resultados mostram que o padrão espacial dos focos de ignição estão fortemente associados ao acesso humano à paisagens naturais, proximidade a áreas urbanas, e as estradas são os factores causais mais importantes (Romero *et al.*, 2008).

3.5. Factores ambientais que influenciam o comportamento do fogo

Segundo (Carlos *et al.*, 2011) factores ambientais influenciam no comportamento do fogo e estão relacionados às características topográficas (exposição, elevação e inclinação), às condições meteorológicas (vento, humidade relativa do ar e temperatura do ar), às características do material combustível (tamanho, forma, quantidade, conteúdo de humidade, continuidade e compactação).

As características topográficas são as mais constantes de um local e possuem grande influência sobre os outros dois grupos (condições meteorológicas e características do material combustível). Devem ser considerados nesse grupo das características do relevo (Carlos *et al.*, 2011):

- **Exposição:** posição da superfície da Terra em relação ao ciclo diário do Sol, que influenciará a temperatura e a humidade relativa do local;
- **Elevação:** altitude em relação ao nível do mar. Quanto maior a altitude, mais difícil se torna a propagação do fogo (menor temperatura e menos oxigênio);
- **Inclinação:** declividade do terreno.

As **condições meteorológicas** possuem efeito pronunciado sobre o comportamento do fogo, influenciando directamente a combustão e indirectamente os outros factores ambientais. São parâmetros a serem considerados: a humidade relativa, a temperatura do ar e o vento (Carlos *et al.*, 2011).

- **Humidade relativa:** possui estreita relação entre humidade atmosférica e humidade dos combustíveis, ou seja, está directamente associada à secagem do material combustível. A baixa humidade relativa do ar faz com que o material combustível perca mais rapidamente sua humidade para o ambiente.
- **Temperatura do ar:** apresenta efeitos sobre o material combustível, os quais influenciam na combustão e na propagação dos incêndios. Quanto maior a temperatura do ar, menor será a quantidade de energia necessária para que o material combustível chegue à temperatura de ignição.
- **Vento:** determina a direcção da propagação nos locais planos, aumenta o suprimento de oxigênio e facilita a ignição dos combustíveis à frente do fogo, por meio da inclinação das chamas e da coluna de convecção.

As **características dos combustíveis florestais** e sua importância na ocorrência e propagação do fogo são apresentadas a seguir (Carlos *et al.*, 2011).

- **Tamanho e forma:** em função da área de contacto com o ambiente, afectam as trocas de calor e humidade com o ambiente.
- **Quantidade:** determina se o fogo vai e propagar ou não e a quantidade de calor que será liberada na queima.
- **Continuidade:** distribuição dos combustíveis, tanto horizontal como vertical, sobre uma área.
- **Compactação:** é o espaçamento existente entre os combustíveis. Controla parcialmente onde o fogo pode ir e a velocidade com que se propaga.
- **Conteúdo de humidade:** é reflexo do clima e das condições atmosféricas, variando conforme a temperatura, a humidade relativa e a precipitação. É importante no controle da inflamabilidade dos combustíveis, sendo função da espessura ou diâmetro dos materiais.

3.5.1. Combustível

Segundo (Carlos *et al.*, 2011) para que o fogo ocorra e consiga se propagar há necessidade de três elementos: o oxigênio, o material combustível e o calor. Esses elementos são representados em um triângulo, denominado Triângulo do Fogo.

Eliminando-se ou reduzindo-se um dos lados deste triângulo consegue-se prevenir ou combater o fogo. As formas de prevenção estão baseadas na eliminação das fontes de calor (cigarros, fogueiras, incendiários, entre outros) e na redução da propagação do fogo, por meio do manuseio do material combustível.

No combate, todas as ferramentas podem ser classificadas em função dos lados do triângulo do fogo em que actuam, como por exemplo: bomba-costal (calor), abafador (oxigênio), enxada (material combustível) e extintor de explosão (oxigênio, calor e material combustível).



Figura 4: Triângulo do fogo (Fonte: Teixeira Neto, 2011).

3.5.2. Topografia do Terreno

Segundo (MAE, 2012) o Distrito de Matutuine situa-se na zona das grandes planícies costeiras do país, com a altitude a aumentar suavemente da costa para o interior do Distrito. Os vales dos rios principais (Fúti, Maputo e Tembe) quebram este andamento que é retomado de novo depois da sua passagem. O distrito tem altitudes máximas inferiores a 500 m (na cadeia dos Pequenos Libombos na fronteira com a Suazilândia), mas só 0,8 % da área do distrito tem altitudes superiores a 200 m.

Toda a costa tem áreas contíguas com menos de 5 m de altitude (o que corresponde a cerca de 6 % da área total do Distrito). A principal classe altimétrica é a da classe dos 50 aos 100 m (cerca de 40 % do Distrito), sendo que 25 % do Distrito tem áreas com menos de 25 m de altitude e 70 % da área tem altitudes entre os 25 e os 200 m.

A maior parte do Distrito é ocupada por rochas sedimentares do Quaternário¹ (cerca de 85 % da área total do Distrito) e do Terciário² (5 %). As rochas vulcânicas do Jurássico³ ocupam os restantes 10 % da área do Distrito.

3.6. Susceptibilidade a Incêndios Florestais

A susceptibilidade é um conceito utilizado em diversas áreas científicas para descrever a propensão ou vulnerabilidade de um sistema, organismo ou material a ser afectado por factores externos ou internos. No contexto dos modelos de susceptibilidade, especialmente em sistemas de informação geográfica (SIG), a susceptibilidade refere-se à predisposição de uma área geográfica a determinados riscos ou fenómenos naturais (Padrão *et al.*, 2022). Por outro lado, (Pereira *et al.*, 2020), argumenta que a susceptibilidade indica a probabilidade de ocorrência de determinadas problemáticas ambientais.

Apesar de seu uso generalizado, os conceitos de susceptibilidade e perigo foram definidos de maneira bastante diferente por vários autores (Bergonse *et al.*, 2021). Leuenberger *et al.* (2018) definiram a susceptibilidade a incêndios florestais como a probabilidade de que o fogo ocorra em uma área específica sem considerar uma escala temporal, avaliada com base em factores relacionados às características intrínsecas do terreno. Por outro lado, (Cao *et al.*, 2017) a definiram simplesmente como a distribuição espacial da probabilidade de sofrer danos, permitindo assim a inclusão de outros factores além das características do terreno, como a probabilidade simples de ocorrência de incêndios florestais, obtida a partir do histórico anual conhecido de incêndios.

3.7. Geoprocessamento

Segundo Luís Piroli (2010) geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a colecta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e informações espaciais ou georreferenciadas. É importante observar que informações georreferenciadas têm como característica principal o atributo de localização, ou seja, estão ligadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de suas coordenadas.

3.7.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os SIG são considerados uma das geotecnologias que se encontram dentro do ramo de actividades do geoprocessamento. Um SIG é um sistema constituído e operacional automatizado de colecta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos (Burrough e McDonnell, 1998).

Segundo (Câmara e 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.

3.7.2. Detecção Remota

De acordo com Jensen (2009), Detecção Remota pode ser definido como a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objecto ou fenómeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contacto físico ou íntimo com o objecto ou fenómeno em estudo.

A Detecção Remota pode ser dividido em:

Orbital – quando as informações são colectadas por sensores localizados em órbitas ao redor do planeta, colectando informações da superfície a determinados intervalos de tempo e de espaço. Os exemplos mais comuns são as imagens de satélite (Jensen, 2009).

Sub-orbital – quando é realizado por equipamentos aerotransportados não localizados em órbitas. Entre estes, destacam-se os sensores aerotransportados, que utilizam para deslocamento aviões, balões, ou veículos aéreos não tripulados (principalmente aeromodelos). Os produtos mais comuns da Detecção Remota sub-orbital são as fotografias aéreas (Jensen, 2009).

3.7.2.1. Aplicações de SIG no Monitoramento e Análise de Incêndios

Chuvieco e Congalton, (1989) afirmam que o uso de um SIG torna possível actualizar e recuperar informações espaciais, bem como produzir modelos cartográficos por combinação, de diversas maneiras, de planos de informações incluídas no banco de dados.

Assim, o SIG pode ser considerado hoje uma técnica indispensável na modelação de risco de incêndios, ou seja, a sua utilização viabiliza a aplicação prática da modelação de risco.

3.7.2.2. Modelação Espacial

A modelação espacial refere-se ao uso de métodos analíticos para representar e analisar fenómenos geográficos, considerando as interações e relações espaciais entre diferentes elementos. Essa abordagem é fundamental em diversas áreas, como geografia, planeamento urbano, ecologia e ciências ambientais, pois permite compreender padrões e processos que ocorrem no espaço geográfico (Yasmina Santos e Alfredo Amaral, 2002)

De acordo com o Dicionário SIG da (ESRI, 2025), a modelagem espacial é uma metodologia ou conjunto de procedimentos analíticos usados para derivar informações sobre relacionamentos espaciais entre fenómenos geográficos.

3.7.2.3. 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 a modelação 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).

3.8. Análise Multicritério

Segundo Marconi e Lakatos (2003) uma análise multicritério é aquela que se baseia em critérios evitando suposições. Kuhn (1962) argumenta que a análise de fenómenos em áreas de conhecimento deve seguir critérios que se ajustam as normas do paradigma, contudo ele também enfatiza que, a medida que novos dados se acumulam, esses critérios podem ser revisados ou mesmo substituídos por outros mais adequados.

3.8.1. Aplicação de Análise Multicritério em SIG

Ao se reportar à ferramenta do SIG como tomada de decisão, um dos métodos mais importantes é a análise multicritério. Uma análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes cenários, baseada em vários critérios, com o intuito de auxiliar na tomada de decisões, tornando-as mais eficazes (Roy, 1996).

3.8.1.1. Aplicação da análise multicritério AHP na tomada de decisão

O método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido por (Saaty, 1980) e permite aos tomadores de decisão trabalhar com problemas que envolvem considerações de múltiplos critérios simultaneamente.

O AHP é uma metodologia pela qual os critérios que condicionam a tomada de decisão são comparados dois a dois numa matriz de decisão baseada numa escala de importância. Após a comparação dos critérios, a matriz é validada pelo índice de consistência que deve ser inferior a 10%.

A AMC é feita com base nos seguintes procedimentos:

- Definição de objectivos - esclarecer os objectivos a alcançar na análise;
- Selecção de critérios de avaliação - definir os critérios para o processo da análise;
- Avaliação dos critérios - etapa de elaboração da matriz de decisão;
- Aplicação dos factores de ponderação - atribuir pesos consoante a sua relevância.

A atribuição de pesos dependerá dos objectivos do trabalho e deverá, também, apoiar-se a fontes bibliográficas correspondentes ao tema ou em valores obtidos junto aos pesquisadores da área. Em última análise poderá basear-se no conhecimento prévio do pesquisador (Buffon, 2018).

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.

Tabela 1: Escala Absoluta, Definição e Justificativa para o processo decisório com a AHP. Fonte: (Borja 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 factor	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

3.8.1.2. Construção de Hierarquias

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

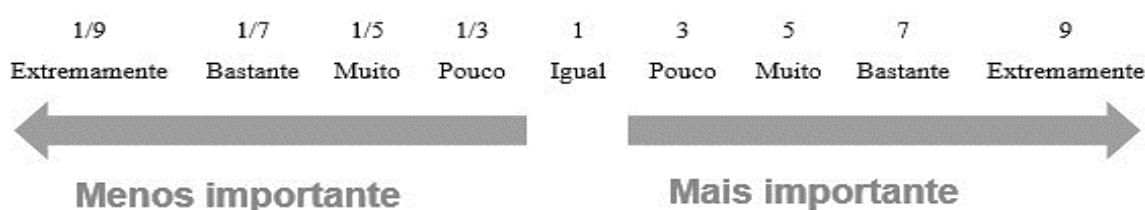


Figura 5: Escala relativa de Saaty utilizada para comparação pareada. Fonte (Saaty, 1987)

É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento-linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre duas actividades ou critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas actividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas.

A seguir é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP.

Matriz A

Iluminação	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

As posições da diagonal serão sempre 1, 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 (Sousa, 2019).

3.8.1.3. 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**). 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)

De acordo com Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca seu autovalor máximo deveria ser igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisamos de $n-1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente.

Para o calculo do **índice de consistência**:

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

Onde:

n : número de variáveis testadas que corresponde ao número de linhas ou colunas;

λ_{max} : autovalor da matriz.

O **índice de consistência randômico** (IR) é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n .

Tabela 2: Índice Randômico Médio do AHP. Fonte: Saaty (1991)

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	1.48	1.56	1.57	1.59

Razão de Consistência

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

Onde:

RC = Razão de Consistência

IR = Índice de Consistência randômico

IC = Índice de Consistência

Material e Metodologia

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 incêndios florestais.

4.1 Material

4.1.1. Aquisição de dados

Para modelar o risco de incêndios florestais, foram obtidos os dados climáticos (precipitação e temperatura) arquivados no site da COPERNICUS (<https://cds.climate.copernicus.eu/>). Os dados referentes ao uso e cobertura do solo foram adquiridos na ESRI Land Cover Explorer gerados a partir de dados de imagem de satélite SENTINEL-2 com uma resolução espacial de 10 m (<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>) no período referente ao ano de 2023.

Os dados referentes ao limite da área de estudo, divisão administrativa e vias de acesso foram obtidos no CENACARTA. Dados de densidade populacional para a área de estudo foram obtidos do site *WorldPop Open Population Repository* (WOPR) (<https://wopr.worldpop.org>).

E por fim, o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi adquirido da *United States Geological Survey* (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e tem uma resolução de 30 m, onde foi possível extrair informação da Declividade, Índice de humidade topográfico, Aspecto, Área de drenagem..

Tabela 3: Descrição dos dados usados

Dados	Formato	Modelo de Dados	Fonte
Precipitação	GeoTiff	Matricial	COPERNICUS
Temperatura			
Uso e cobertura do solo			ESRI
Densidade Populacional			WOPR
MDE			USGS
Divisão Administrativa	Shapefile	Vectorial	CENACARTA
Vias de acesso			

4.1.2. Equipamentos Computacionais

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 4: Equipamentos Computacionais

Programas e sua versão	Função
Word 2016	Redação do trabalho
Excel 2016	Criação de tabelas e cálculos
Visio 2016	Elaboração de esquemas (Fluxograma)
AHP Calculator	Elaboração da matriz de comparação par a par
QGIS 3.32.3 (Lima)	Elaboração de mapas e validação dos resultados

4.2. Processos metodológicos

A metodologia a ser adoptada na presente pesquisa busca aplicar um modelo de vulnerabilidade ao risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuíne tendo como base a análise multicritério pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) proposto por Saaty 1980, onde serão selecionados os factores já identificados na Tabela 3, correspondentes à aquisição de dados para implementação do método AHP para a tomada de decisão na avaliação dos critérios.

A concretização do trabalho foi baseada nos procedimentos ilustrados no esquema a baixo:

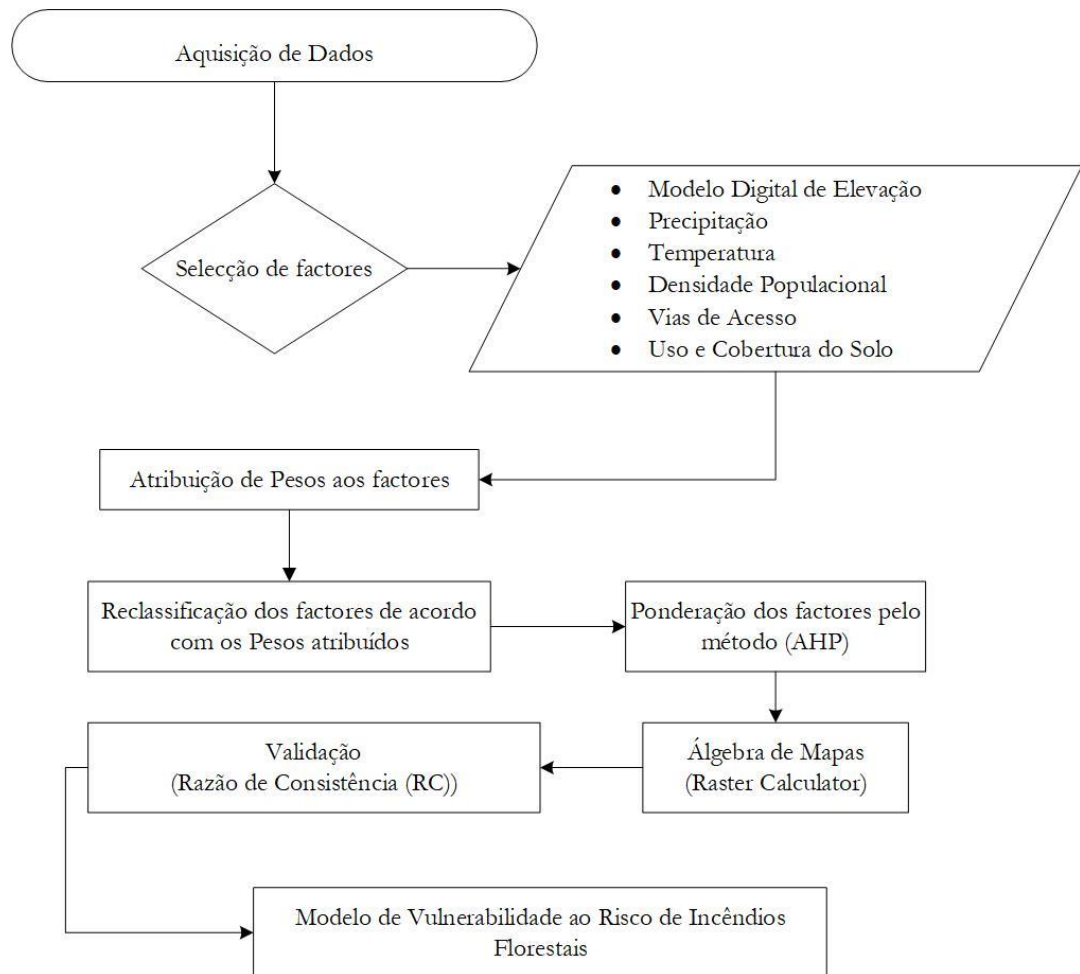


Figura 6: Fluxograma simplificado dos procedimentos

4.2.1. Fluxograma Metodológico

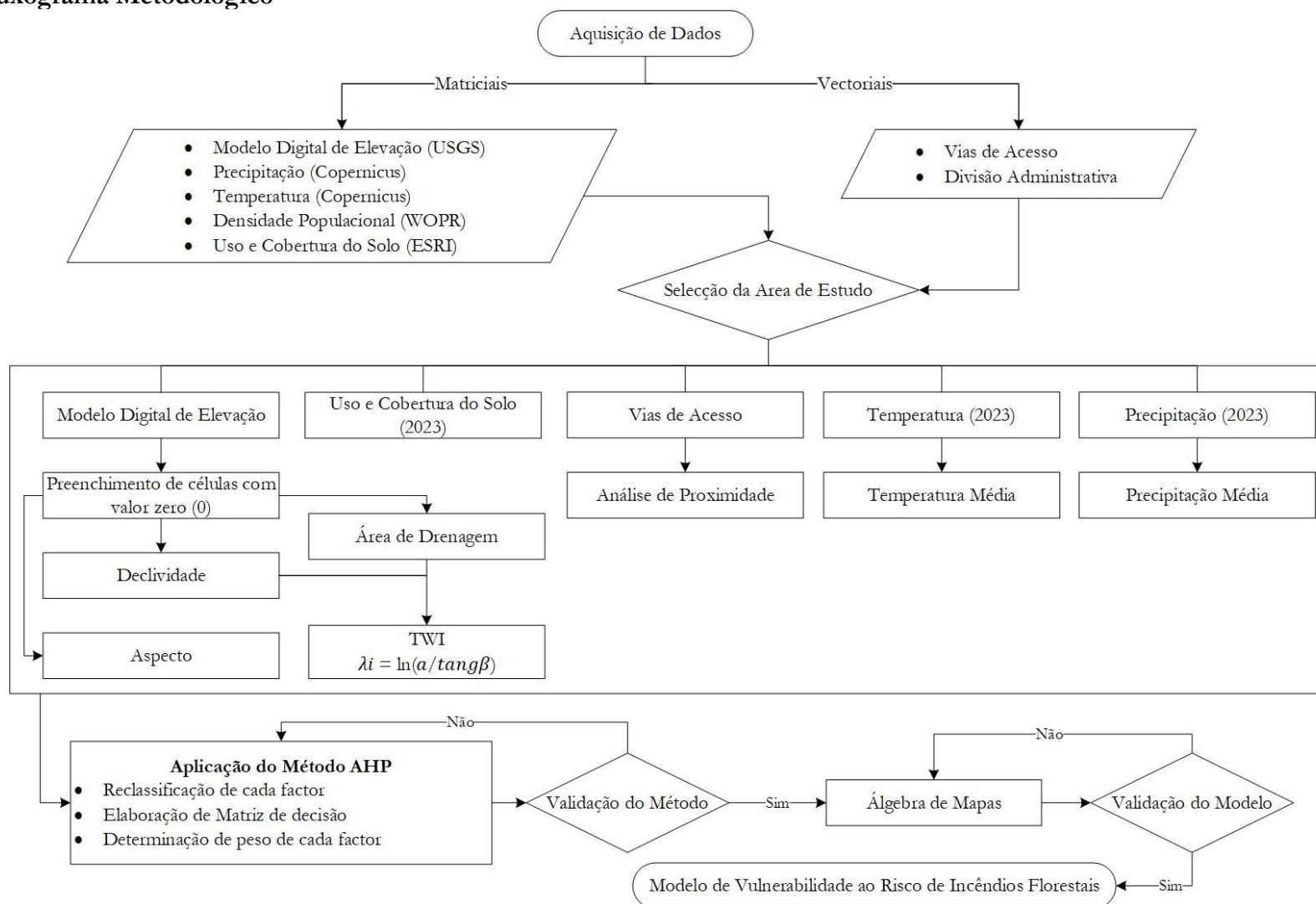


Figura 7: Fluxograma Metodológico

4.2.2. Selecção e avaliação de factores

Para a modelação do risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuíne foram consideradas diversas variáveis que podem influenciar a probabilidade e a severidade de um incêndio ocorrer sendo eles os factores considerados a precipitação média, temperatura média, proximidade às vias de acesso, uso e cobertura do solo, densidade populacional e Índice de Humidade Topográfica.

4.2.3. Pré-processamento dos dados de entrada

O pré-processamento consistiu em reunir todos os factores relevantes que possam causar a incidência do risco de incêndios florestais, a transformação do factor vias de acesso em raster para análise de proximidade de vias de acesso, o calculo da temperatura média e precipitação média o preenchimento das células vazias do MDE de modo a obter os factores de declividade, área de drenagem e aspecto neste mesmo processo de pré-processamento foi gerado o factor de índice de humidade topográfica (TWI) pela seguinte formula:

Formula para extração do índice humidade topográfica $\lambda_i = \ln\left(\frac{a}{\tan\beta}\right)$

Onde:

α : Área de drenagem

β : Declividade

4.2.3.1. Atribuição de valores aos factores

Esta fase consistiu em atribuir valores que representam o risco de incêndios florestais criando uma escala de classificação para os factores variando de baixo, moderado e alto, os valores variam de 1 a 3. A atribuição dos valores e reclassificação será feita baseando se em diversos autores.

4.2.3.2. Reclassificação dos factores de acordo com os pesos atributos

Realizou-se a reclassificação através da ferramenta Reclassificar por Tabela do *Software* QGIS. A reclassificação permite atribuir o valor do nível de risco de incêndio do factor gerado.

O valor 1 é para o risco baixo, o valor 2 é para o risco moderado e o valor 3 é para o risco alto. Dessa forma, a Tabela 5 mostra as classes expressas em metros, os níveis de risco de incêndio e a valoração do nível de risco de incêndio para o factor Modelo Digital de Elevação.

Tabela 5: Classificação e valoração das classes do Modelo Digital de Elevação. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)

Classe (m)	Classe de Susceptibilidade	Risco
≤ 19	Alto	3
19 – 38	Alto	3
38 – 52	Moderado	2
52 - 66	Moderado	2
>66	Baixo	1

A Figura 8, mostra o risco de incêndio para o factor de Elevação, onde para as altitudes mais baixas, o nível de risco de incêndio é mais elevado, e para as altitudes mais altas, o nível de risco de incêndio é baixo. Isto é, quando a altitude é mais elevada a temperatura é baixa, proporcionando risco baixo de incêndio. É notável, uma grande porção de área tem o risco moderado para o incêndio, que está destacada em amarela.

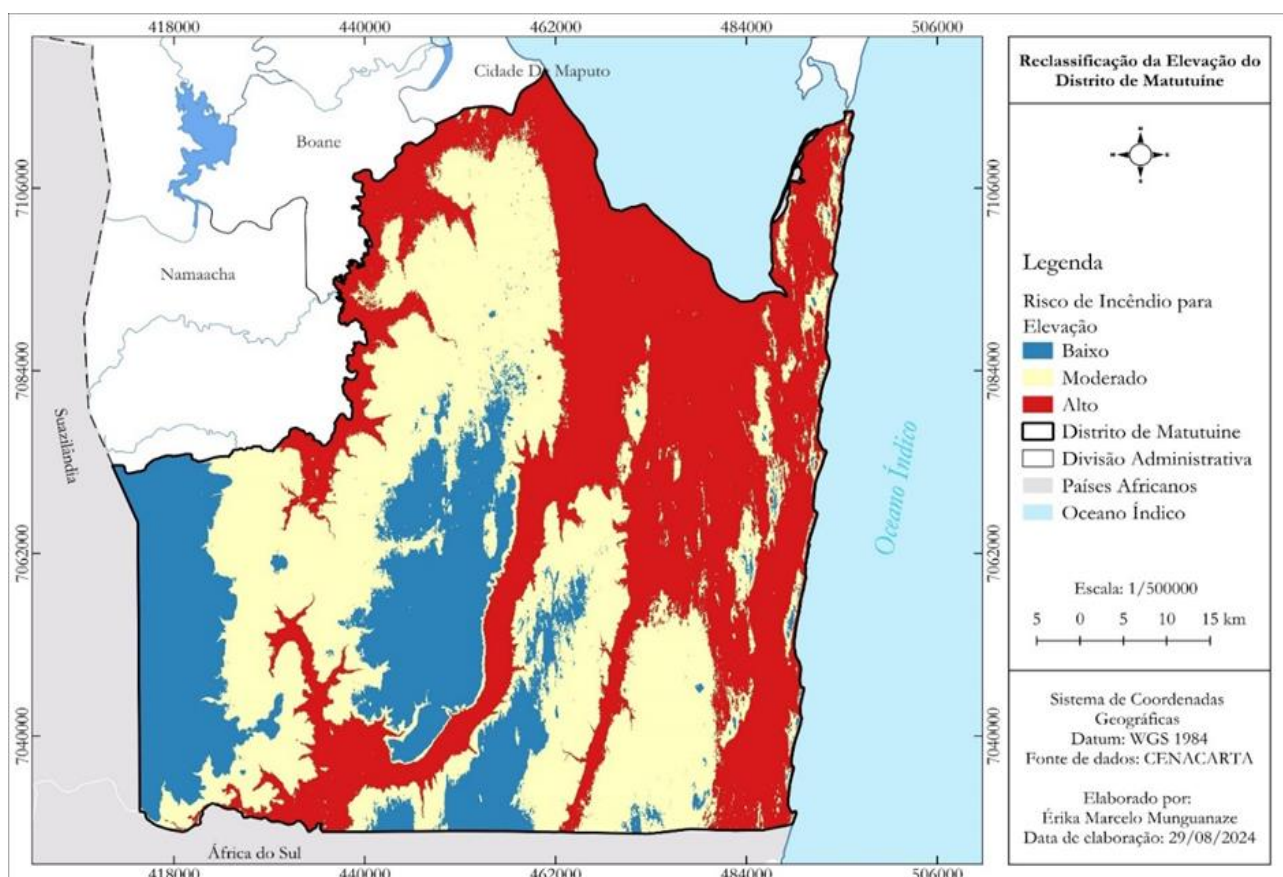


Figura 8: Reclassificação do Modelo Digital de Elevação do Distrito de Matutuine

A Tabela 6, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Modelo Digital de Elevação. Desta forma, percebe-se que 19.99% da área apresentou o risco baixo, 40.02% risco moderado e 39.99% risco alto.

Tabela 6: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o factor Elevação

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	39.99%
Moderado	40.02%
Baixo	19.99%

A Figura 9, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a Elevação. Percebe-se que, o risco baixo obteve 106 706.20 hectares, o risco moderado obteve 213 595.08 hectares e o risco alto obteve 213 483.38 hectares, em um total de 533 784.66 hectares.

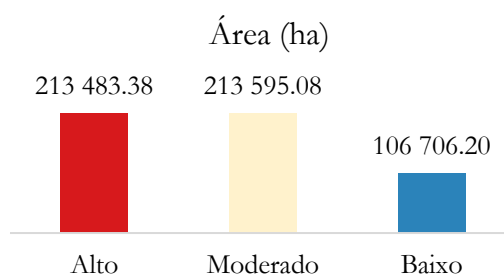


Figura 9: Distribuição das Áreas de Risco para o factor Elevação

A Tabela 7, mostra o risco de incêndio para o factor declividade, onde o declive é menos íngreme, o risco de incêndio é mais baixo, e para o declive mais íngreme, o risco é mais elevado. Dessa forma, com a declividade mais íngreme o fogo se propaga com mais velocidade.

Tabela 7: Classificação e valoração das classes da declividade. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)

Classe (%)	Classe de Susceptibilidade	Risco
≤ 3	Baixo	1
3 – 6	Baixo	1
6 – 9	Moderado	2
9 – 12	Moderado	2
>12	Alto	3

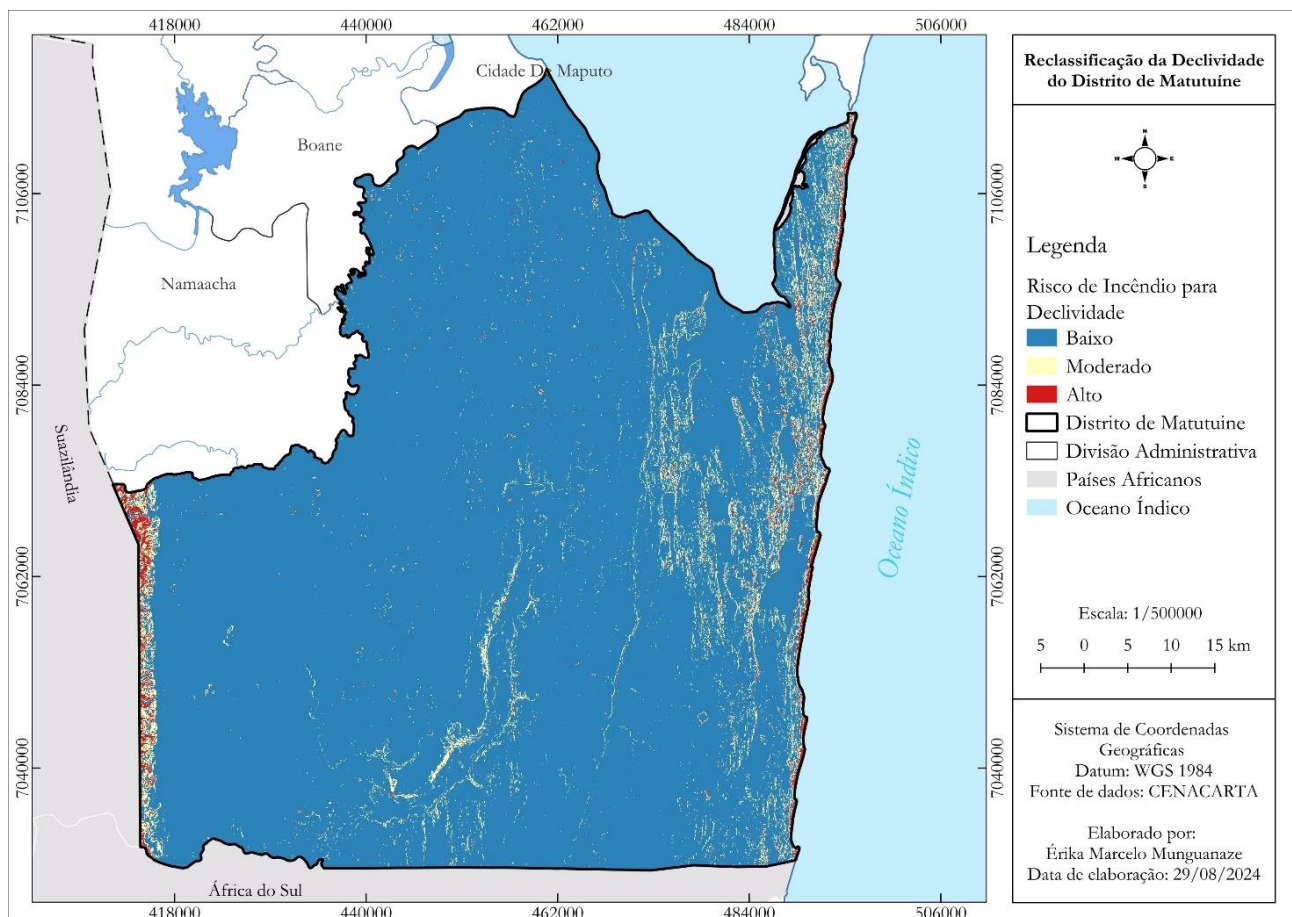


Figura 10: Reclassificação da Declividade do Distrito de Matutuine

A Tabela 8, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Declividade. Desta forma, percebe-se que 93.99% da área apresentou o risco baixo, 4.87% risco moderado e 1.14% risco alto.

Tabela 8: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Declividade

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	1.14%
Moderado	4.87%
Baixo	93.99%

A Figura 11, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a declividade. Percebe-se que, o risco baixo obteve 500 252.64 hectares, o risco moderado obteve 25 942.70 hectares e o risco alto obteve 6 044.46 hectares, em um total de 532 239.80 hectares.

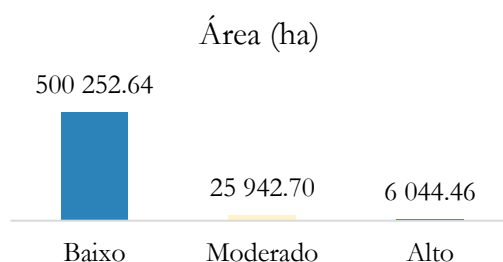


Figura 11: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Declividade

A Tabela 9, demonstra o risco de incêndio em função do factor de aspecto. As áreas com orientação voltada para o sol, como as que têm um aspecto sul, tendem a apresentar um risco de incêndio mais elevado, devido à maior exposição à luz solar e ao aquecimento da vegetação. Em contrapartida, áreas com aspectos voltados para o norte ou com sombra natural, que recebem menos radiação solar, geralmente apresentam um risco de incêndio mais baixo, uma vez que mantêm um nível de humidade mais elevado. Observa-se que uma parte considerável da área apresenta risco moderado de incêndio, destacada em amarelo, indicando regiões onde o aspecto pode influenciar a susceptibilidade ao fogo.

Tabela 9: Classificação e valoração das classes do Aspecto. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)

Classe (%)	Classe de Susceptibilidade	Risco
Sudoeste	Baixo	1
Sudeste		1
Sul		1
Relevo Plano		1
Este	Moderado	2
Oeste		2
Norte	Alto	3
Nordeste		3
Noroeste		3
Norte		3

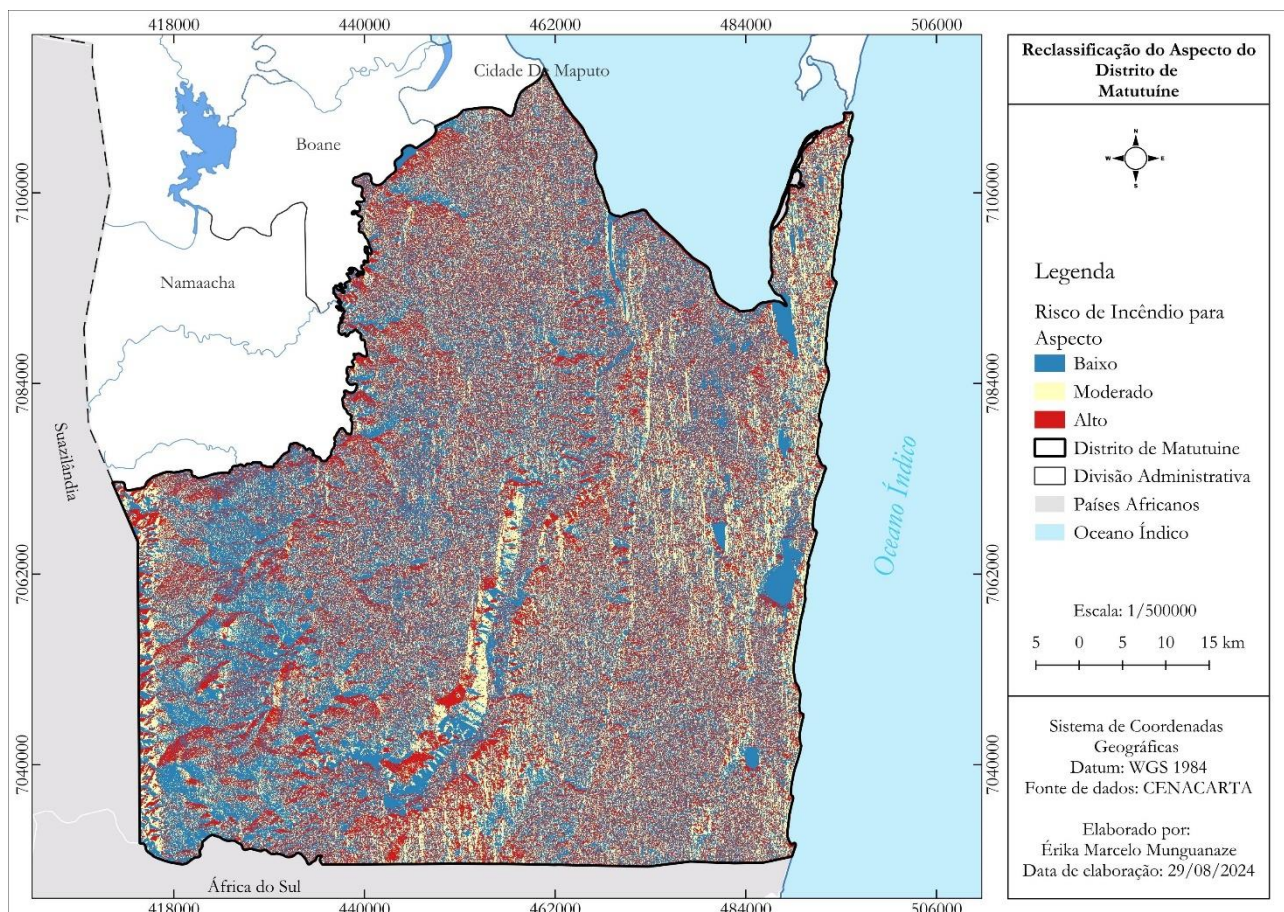


Figura 12: Reclassificação do Aspecto do Distrito de Matutuine

A Tabela 10, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Declividade. Desta forma, percebe-se que 41.64% da área apresentou o risco baixo, 29.28% risco moderado e 29.08% risco alto.

Tabela 10: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Aspecto

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	29.08%
Moderado	29.28%
Baixo	41.64%

A Figura 13, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para o aspecto. Percebe-se que, o risco baixo obteve 222 244.05 hectares, o risco moderado obteve 155 212.12 hectares e o risco alto obteve 156 293.08 hectares, em um total de 533 749.25 hectares.

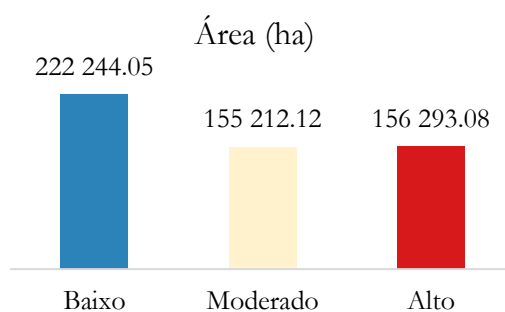


Figura 13: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Aspecto

O risco de incêndios é apresentado na Tabela 11 para a variável uso e cobertura do solo. As classes do Mapa de uso e cobertura do solo foram divididas em sete, sendo elas: Corpos de Água, Área Vegetada, Zonas Húmidas, Plantações, Área Construída, Área de Cultivo e Solo Exposto.

Tabela 11: Classificação e valoração das classes do uso e cobertura do solo. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)

Classes	Classe de Susceptibilidade	Risco
Corpos de Água	Baixo	1
Zonas Húmidas		1
Solo Exposto		1
Área Vegetada	Moderado	2
Plantações	Alto	3
Área Construída		3
Área de Cultivo		3

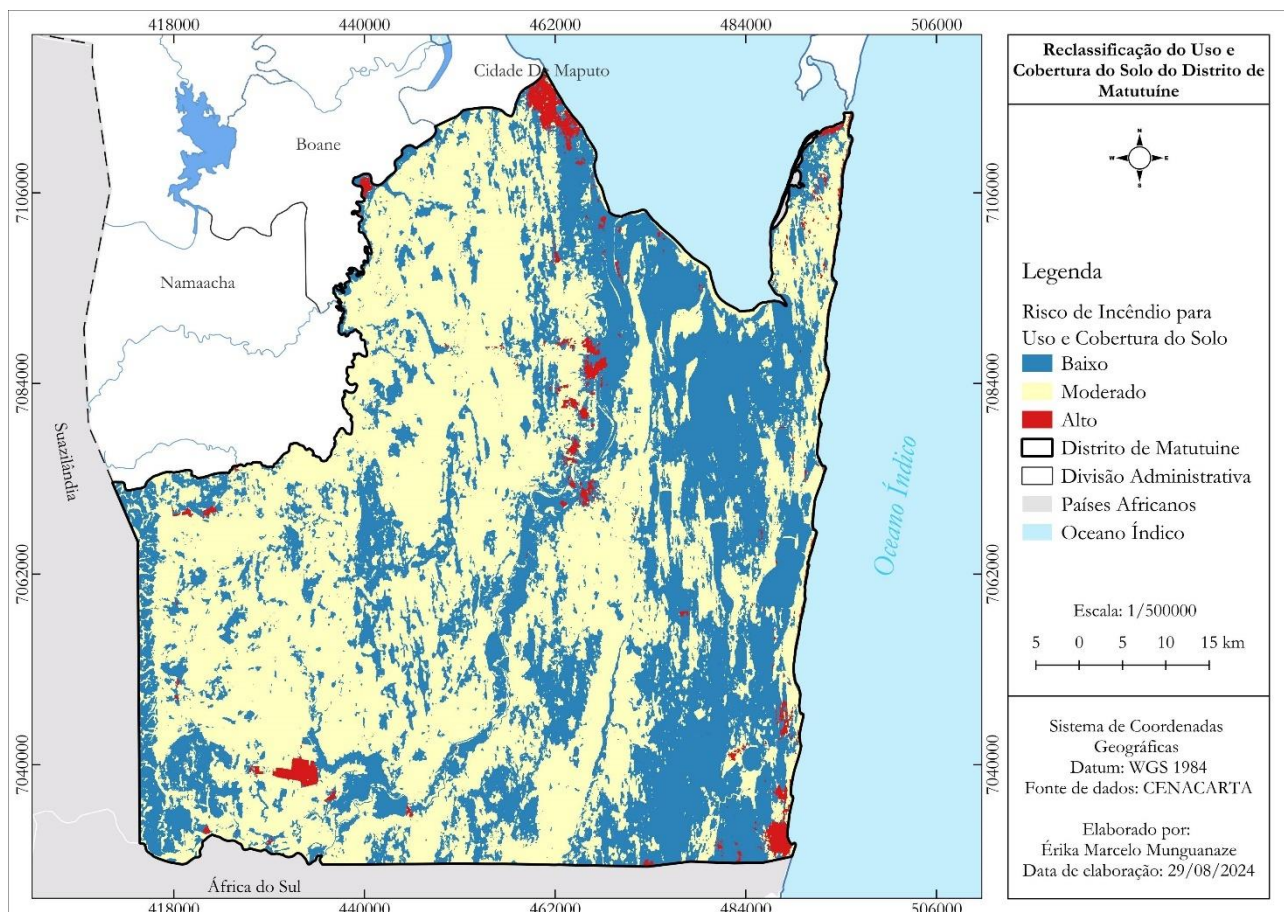


Figura 14: Reclassificação do Uso e Cobertura do Solo do Distrito de Matutuine

A Tabela 12, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a uso e cobertura do solo. Desta forma, percebe-se que 38.61% da área apresentou o risco baixo, 59.71% risco moderado e 1.68% risco alto.

Tabela 12: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Uso e Cobertura do Solo

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	1.68%
Moderado	59.71%
Baixo	38.61%

A Figura 15, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para o uso e cobertura do solo. Percebe-se que, o risco baixo obteve 202 679.28 hectares, o risco moderado obteve 313 440.89 hectares e o risco alto obteve 8 814.54 hectares, em um total de 524 934.71 hectares.

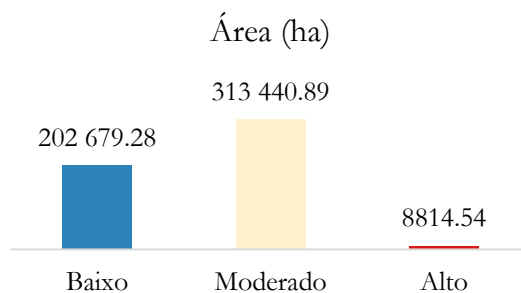


Figura 15: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor uso e cobertura do solo

A Tabela 13, mostra o risco de incêndio para o factor proximidade de estradas, onde a cor vermelha representa o nível de risco de incêndio é alto, e fora dessa área o risco de incêndio é moderado, indicada com a cor amarela e baixo indicado pela cor azul.

Tabela 13: Classificação e valoração das classes da Proximidade de Estradas. (Fonte: Soares, 1985 e Eugenio et al., 2016)

Classe (%)	Classe de Susceptibilidade	Risco	Área (%)
≤ 450	Alto	3	39.95%
450 – 1095		3	
1095 – 2030	Moderado	2	20.34%
2030 – 3510	Baixo	1	39.70%
>3510		1	

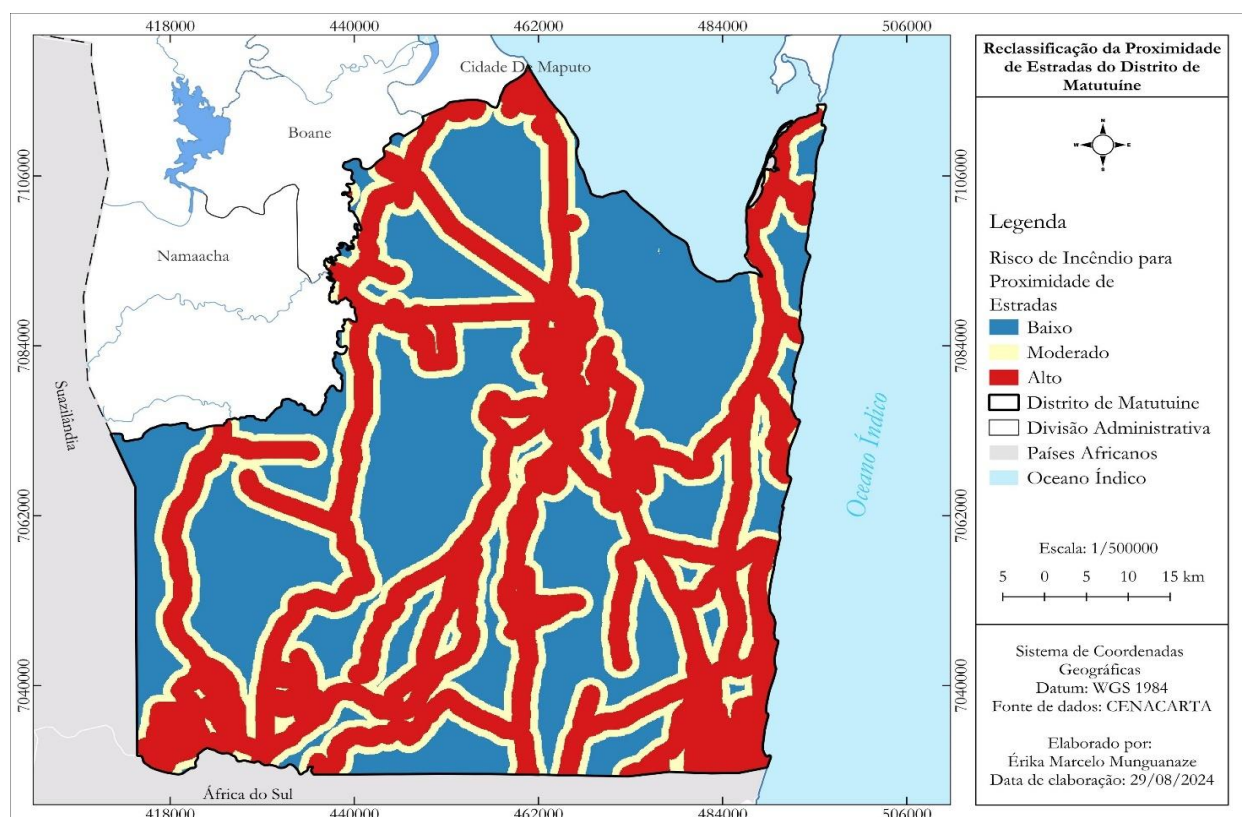


Figura 16: Reclassificação da Proximidade de Estradas do Distrito de Matutuine

A Tabela 14, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Proximidade de Estradas. Desta forma, percebe-se que 39.70% da área apresentou o risco baixo, 39.95% risco moderado e 39.95% risco alto.

Tabela 14: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Proximidade de Estradas

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	39.95%
Moderado	20.34%
Baixo	39.70%

A Figura 17, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a Proximidade de Estradas. Percebe-se que, o risco baixo obteve 211 923.04 hectares, o risco moderado obteve 108 597.99 hectares e o risco alto obteve 213 274.31 hectares, em um total de 533 795.34 hectares.

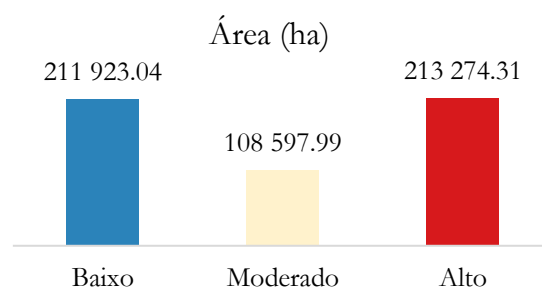


Figura 17: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Proximidade de Estradas

A Tabela 15, apresenta o risco de incêndio em função do factor de Precipitação. Nas áreas com menor precipitação, o risco de incêndio é elevado, pois a vegetação tende a ficar mais seca e inflamável. Em contraste, nas áreas com maior precipitação, o risco de incêndio é baixo, uma vez que a humidade reduz a probabilidade de combustão. Observa-se que uma grande porção da área apresenta um risco moderado de incêndio, destacada em amarelo, indicando regiões com níveis de precipitação intermediários.

Tabela 15: Classificação e valoração das classes da Precipitação. (Fonte: Eugenio et al., 2016)

Classe de Susceptibilidade	Risco	Área (%)
Alto	3	29.33%
Moderado	2	36.12%
Baixo	1	34.56%

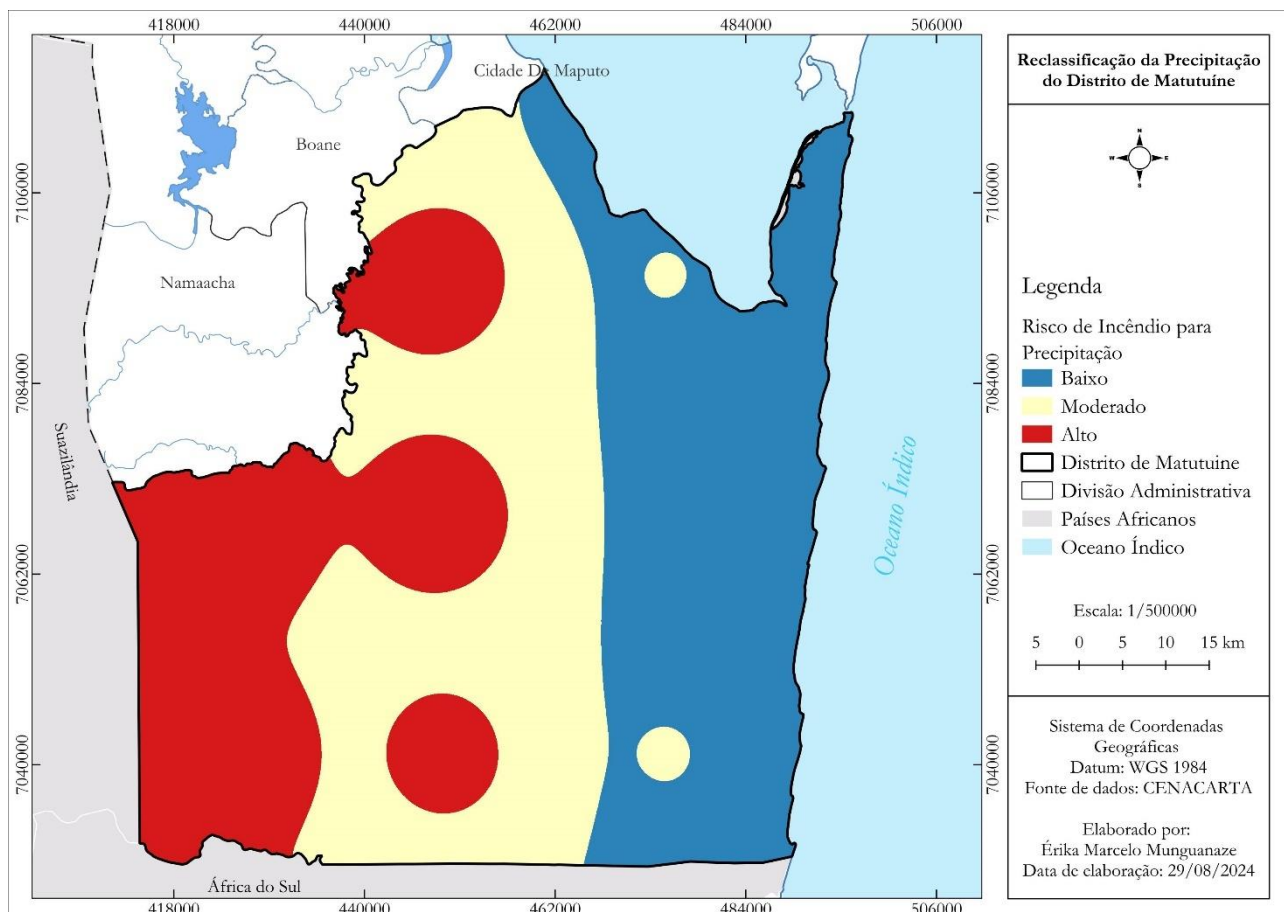


Figura 18: Reclassificação da Precipitação do Distrito de Matutuine

A Tabela 16, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Precipitação. Desta forma, percebe-se que 34.56% da área apresentou o risco baixo, 36.12% risco moderado e 29.33% risco alto.

Tabela 16: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Precipitação

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	29.33%
Moderado	36.12%
Baixo	34.56%

A Figura 19, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a Precipitação. Percebe-se que, o risco baixo obteve 184 454.25 hectares, o risco moderado obteve 192 793.26 hectares e o risco alto obteve 156 549.81 hectares, em um total de 533 797.32 hectares.

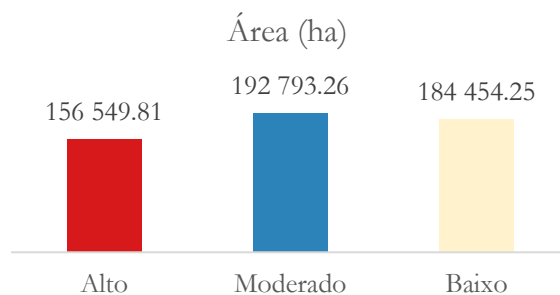


Figura 19: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Precipitação

A Tabela 17, ilustra o risco de incêndio em função do factor de Temperatura. Em áreas com temperaturas mais altas, o risco de incêndio é elevado, pois o calor intenso aumenta a evaporação e a secura da vegetação, facilitando a propagação do fogo.

Tabela 17: Classificação e valoração das classes da Temperatura. (Fonte: Eugenio et al., 2016)

Classe de Susceptibilidade	Risco	Área (%)
Alto	3	53.02%
Moderado	2	25.13%
Baixo	1	21.85%

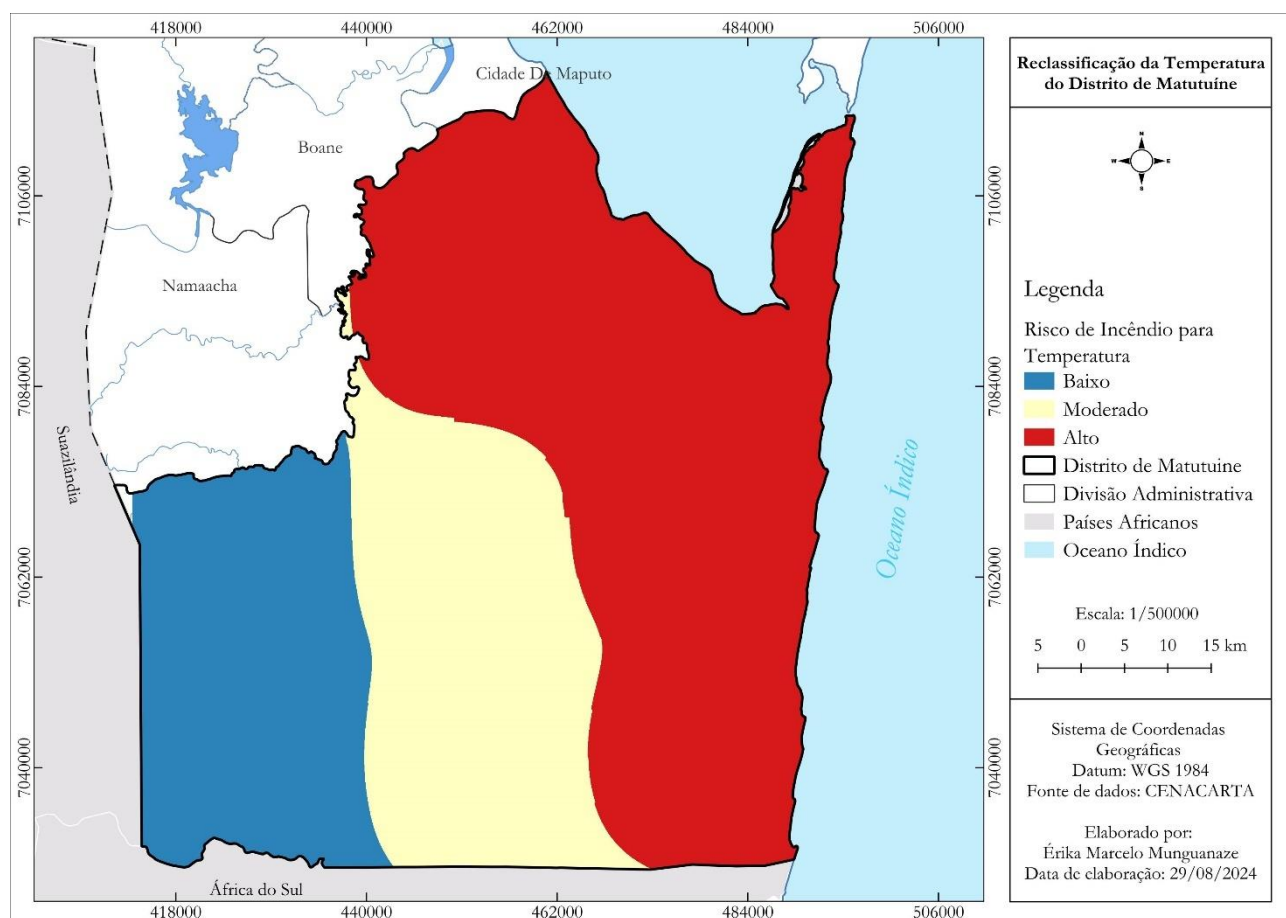


Figura 20: Reclassificação da Temperatura do Distrito de Matutuíne

A Tabela 18, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Temperatura. Desta forma, percebe-se que 21.85% da área apresentou o risco baixo, 25.13% risco moderado e 53.02% risco alto.

Tabela 18: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Temperatura

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	53.02%
Moderado	25.13%
Baixo	21.85%

A Figura 21, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a Temperatura. Percebe-se que, o risco baixo obteve 116 512.79 hectares, o risco moderado obteve 134 018.64 hectares e o risco alto obteve 282 757.38 hectares, em um total de 533 288.81 hectares.

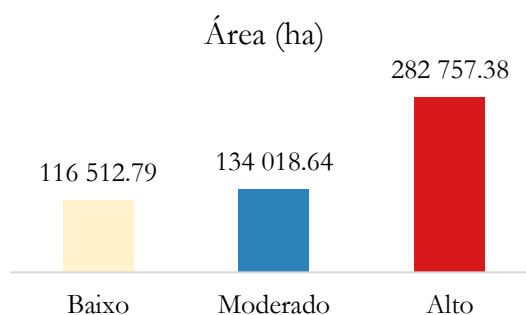


Figura 21: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Temperatura

A Tabela 19, representa o risco de incêndio com base no Índice de Humidade Topográfica (TWI). Em áreas com valores baixos de TWI, o risco de incêndio é alto, pois essas áreas tendem a acumular menos humidade, tornando a vegetação mais seca e susceptível a combustão. Por outro lado, áreas com valores altos de TWI apresentam um risco de incêndio reduzido, devido à maior retenção de humidade no solo, o que dificulta a propagação de chamas. Observa-se uma grande porção de área com risco moderado de incêndio, destacada em amarelo, caracterizando regiões com níveis intermediários de humidade topográfica.

Tabela 19: Classificação e valoração das classes da Índice De Humidade Topográfica. (Fonte: Eugenio et al., 2016)

Classe de Susceptibilidade	Risco	Área (%)
Baixo	1	7.32%
Moderado	2	36.69%
Alto	3	56.00%

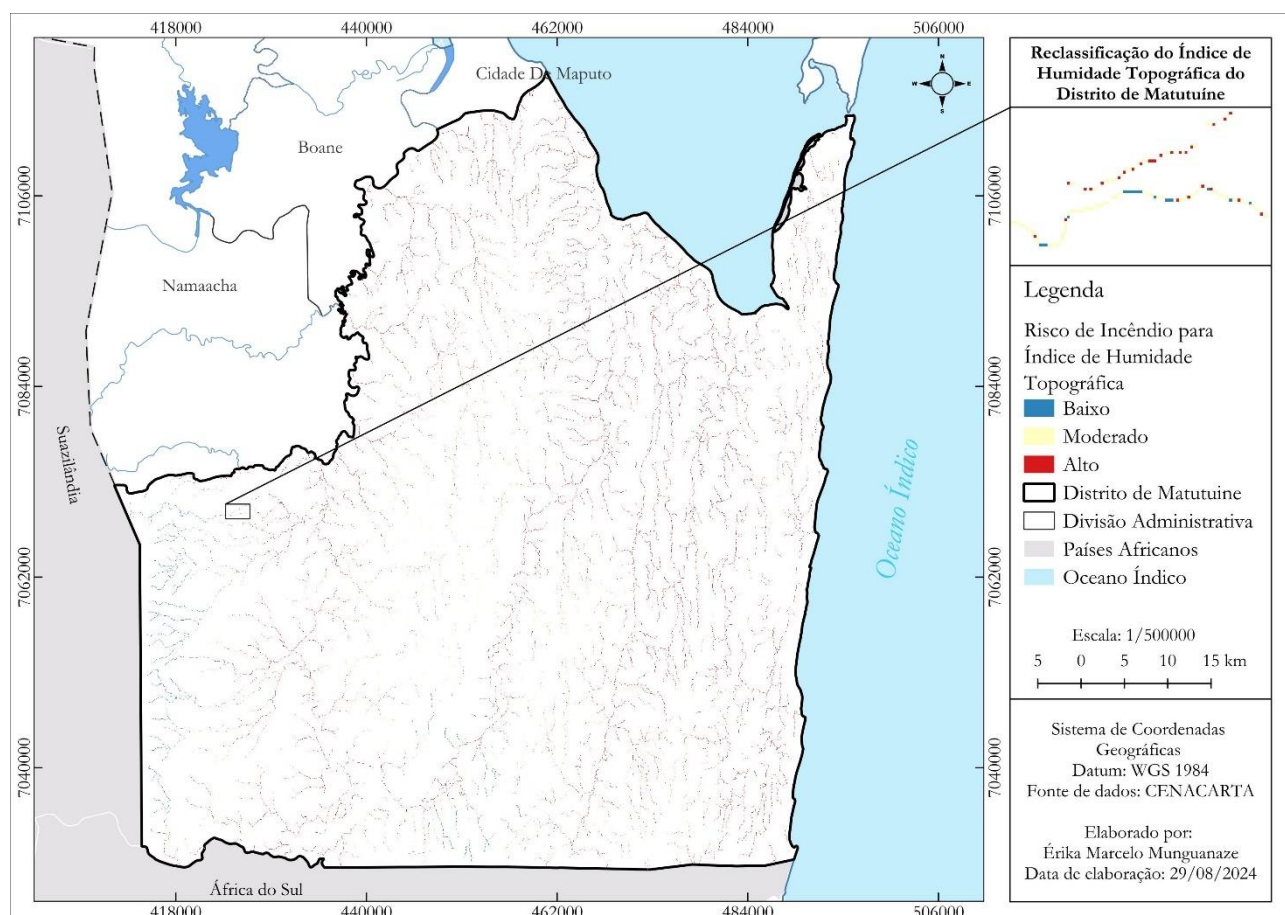


Figura 22: Reclassificação da Índice de Humidade Topográfica do Distrito de Matutuine

A Tabela 20, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Índice De Humidade Topográfica. Desta forma, percebe-se que 7.32% da área apresentou o risco baixo, 36.69% risco moderado e 56.00% risco alto.

Tabela 20: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Índice de Humidade Topográfica

Classe de Susceptibilidade	Área (%)
Alto	56.00%
Moderado	36.69%
Baixo	7.32%

A Figura 23, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a Índice de Humidade Topográfica. Percebe-se que, o risco baixo obteve 736.71 hectares, o risco moderado obteve 3 693.52 hectares e o risco alto obteve 5 637.55 hectares, em um total de 10 067.77 hectares.

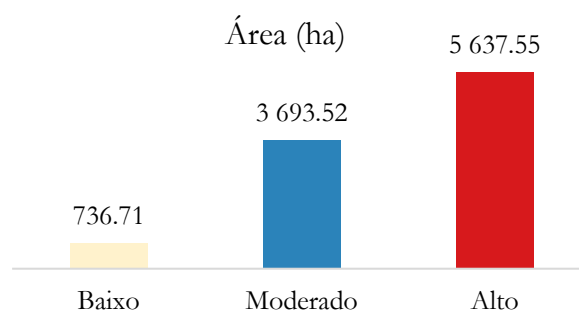


Figura 23: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor Índice de Humidade Topográfica

A Tabela 21, mostra o risco de incêndio para o factor densidade populacional, nas áreas com alta densidade populacional, o risco de incêndio tende a ser elevado, uma vez que a actividade humana aumenta a probabilidade de ignição.

Tabela 21: Classificação e valoração das classes da Densidade Populacional. (Fonte: Eugenio et al., 2016)

Nível de Risco de Incêndios	Risco	Área (%)
Alto	3	84.26%
Moderado	2	14.68%
Baixo	1	84.26%

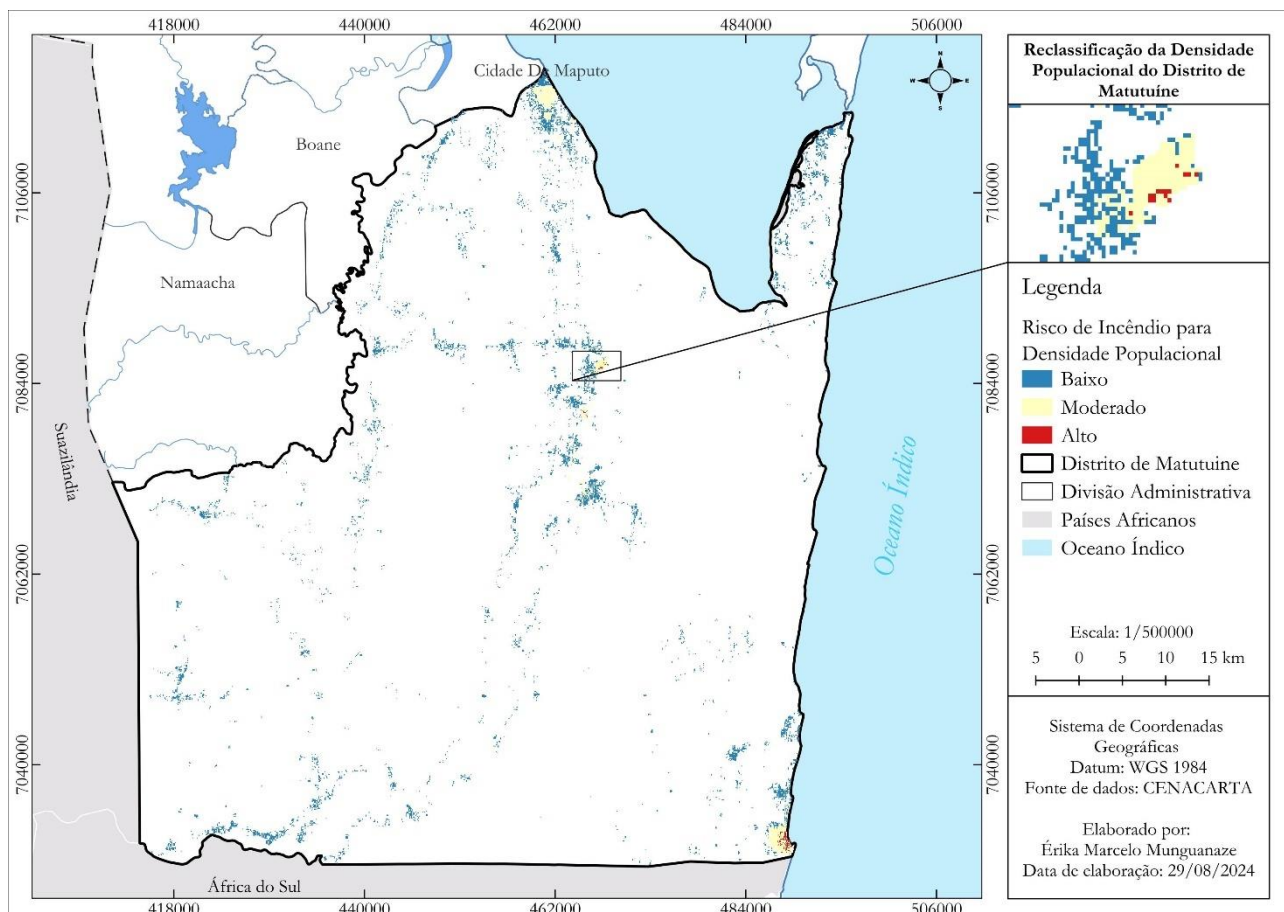


Figura 24: Reclassificação da Densidade Populacional do Distrito de Matutuine

A Tabela 22, mostra a percentagem das áreas em relação ao risco de incêndio para a Índice de Humidade Topográfica. Desta forma, percebe-se que 7.32% da área apresentou o risco baixo, 36.69% risco moderado e 56.00% risco alto.

Tabela 22: Distribuição Percentual das Áreas de Risco para o Factor Densidade Populacional

Nível de Risco de Incêndios	Área (%)
Alto	56.00%
Moderado	36.69%
Baixo	7.32%

A Figura 25, apresenta as distribuições das áreas, em hectares, em relação ao risco de incêndio para a densidade populacional. Percebe-se que, o risco baixo obteve 9 133.32 hectares, o risco moderado obteve 1 590.82 hectares e o risco alto obteve 115.73 hectares, em um total de 10 839.87 hectares.

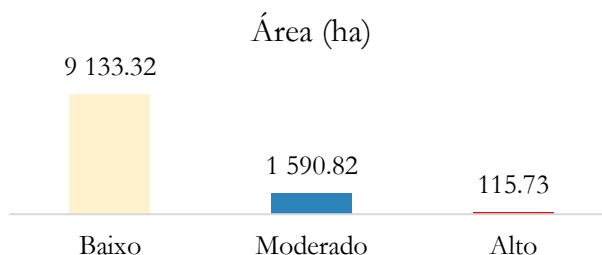


Figura 25: Distribuição das Áreas de Risco para o Factor densidade populacional

4.2.3.3. Elaboração da matriz de comparação par a par

Foi desenvolvida uma matriz de comparação utilizando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), fundamentado na escala proposta por Saaty (1980). Essa abordagem permite a definição precisa da importância relativa entre os diversos condicionantes envolvidos no estudo. Para a elaboração da matriz de comparação, foi empregado o *AHP Calculator*¹.

Tabela 23: Relação Variável e Sigla adoptada

Elevação	DEM
Temperatura	TEMP
Aspecto	ASP
Uso e Cobertura do Solo	UCT
Proximidade de estradas	EST
Declividade	DECL
Densidade Populacional	POP
TWI	TWI
Precipitação	PREC

Tabela 24: Matriz de comparação par a par

VARIÁVEIS	DEM	TEMP	ASP	UCT	EST	DECL	POP	TWI	PREC
DEM	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11
TEMP	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13
ASP	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14
UCT	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17
EST	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20
DECL	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25
POP	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33
TWI	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50
PREC	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00
SOMATÓRIO	45.00	36.50	28.83	22.08	16.28	11.45	7.59	4.72	2.83

¹ <https://bpmsg.com/ahp/> acessado em 10 de Agosto de 2024.

Após a construção da matriz de comparação par a par, o passo seguinte consistiu na normalização dos seus elementos. Esse processo visou ajustar os valores de cada elemento da matriz para que a soma dos valores em cada coluna resulte em 1. Para atingir esse objectivo, foi realizado o cálculo do total de cada coluna, seguido da divisão de cada valor de célula pelo total correspondente, assegurando assim a consistência da normalização.

Tabela 25: Matriz de comparação par a par normalizada

VARIÁVEIS	DEM	TEMP	ASP	UCT	EST	DECL	POP	TWI	PREC
DEM	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
TEMP	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04
ASP	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
UCT	0.09	0.08	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06
EST	0.11	0.11	0.10	0.09	0.06	0.04	0.04	0.05	0.07
DECL	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.09	0.07	0.07	0.09
POP	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.17	0.13	0.11	0.12
TWI	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.26	0.26	0.21	0.18
PREC	0.20	0.22	0.24	0.27	0.31	0.35	0.40	0.42	0.35
SOMATÓRIO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

4.2.3.4. Determinação de pesos para cada variável

Com a matriz de comparação normalizada, o próximo passo consistiu na atribuição de pesos a cada um dos factores avaliados. Os pesos reflectem a importância relativa de cada elemento em relação aos demais, permitindo uma análise mais precisa das influências sobre o fenómeno em estudo. Para calcular os pesos, realiza-se a média dos valores de cada linha da matriz normalizada, resultando em um conjunto de pesos que somam 1.

Tabela 26: Pesos de cada factor

Factor	Peso
DEM	0.02
TEMP	0.03
ASP	0.04
UCT	0.05
EST	0.08
DECL	0.11
POP	0.15
TWI	0.22
PREC	0.31
Somatório	1.00

4.2.3.5. Razão de Consistência

Após o cálculo dos pesos, o próximo passo é determinar a Razão de Consistência (*Consistency Ratio - CR*), que indica a probabilidade de os valores na matriz terem sido gerados ao acaso. De acordo com Saaty (1987), quanto mais próximos de zero forem os resultados, maior será a consistência dos pesos atribuídos. Idealmente, a Razão de Consistência deve ser inferior a 0,1 (10%) para garantir a validade dos resultados. Para calcular a Razão de Consistência, primeiro é necessário determinar o maior autovalor da matriz λ_{max} em seguida, calcular o índice de consistência, que será usado para obter o CR.

4.2.3.5.1. Autovalor da matriz λ_{max}

O maior autovalor (λ_{max}) é obtido ao multiplicar a matriz pelos pesos normalizados e calcular a média do vetor resultante.

Tabela 27: Determinação do Autovector

MATRIZ PAR A PAR									PESOS	AW
1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.02	0.17
2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.03	0.24
3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.04	0.34
4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.05	0.49
5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.08	0.71
6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.25	0.11	1.04
7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.33	0.15	1.50
8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.50	0.22	2.13
9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1.00	0.31	2.98

$$\lambda_{max} = 9.40$$

Este valor de (λ_{max}) é, então, utilizado no cálculo do índice de consistência (IC), que, em conjunto com a Razão de Consistência (RC), determina o grau de consistência dos julgamentos realizados na matriz.

4.2.3.5.2. Índice de consistência (IC)

O índice de consistência é obtido pela formula

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

Onde:

n : número de variáveis testadas que corresponde ao número de linhas ou colunas;

λ_{max} (autovalor da matriz): o índice que relaciona os critérios da matriz de consistência e os pesos dos critérios.

$$IC = \frac{9.40 - 9}{(9 - 1)} = 0.05$$

4.2.3.5.3. Índices Randômicos

Utilizando a tabela de Índices Randômicos de Saaty (1987) para matrizes de ordem 1 a 15, o índice randômico (IR) para a matriz específica analisada é $IR = 1.45$.

4.2.3.5.4. Razão de Consistência (RC)

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

Onde:

RC = Razão de Consistência

IR = Índice de Consistência randômico

IC = Índice de Consistência

$$RC = \frac{0.05}{1.45} = 0.035$$

$$0.035 < 0.10 = \text{Consistência aceitável}$$

O valor da Razão de Consistência (RC) confirma que a matriz de comparação é consistente, pois está abaixo do limite de 10%. Conforme estabelecido por Saaty (1987), uma RC inferior a 10% indica um grau de consistência satisfatório, valores superiores a esse limite sugerem inconsistências que comprometem a validade dos julgamentos e inviabilizam o uso do método AHP.

4.2.3.6. Combinação dos factores

Após confirmar a consistência do método, a análise de susceptibilidade ao risco de incêndio florestal foi concluída combinando os factores por meio da multiplicação do peso de cada factor com seu respectivo mapa reclassificado.

A fórmula para a combinação dos factores com os respectivos pesos para a análise de susceptibilidade ao risco de incêndio florestal é:

Mapa de Susceptibilidade

$$\begin{aligned} &= (0.02 \times DEM) + (0.03 \times TEMP) + (0.04 \times ASP) + (0.05 \times UCT) \\ &+ (0.08 \times EST) + (0.11 \times DECL) + (0.15 \times POP) + (0.22 \times TWI) \\ &+ (0.31 \times PREC) \end{aligned}$$

Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados na aplicação da metodologia proposta sob forma de tabelas, gráficos e mapas com vista a descrever de forma didática a análise realizada.

5.1 Suscetibilidade ao Risco de Incêndio Florestal

O resultado obtido permite uma análise detalhada do risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuine.

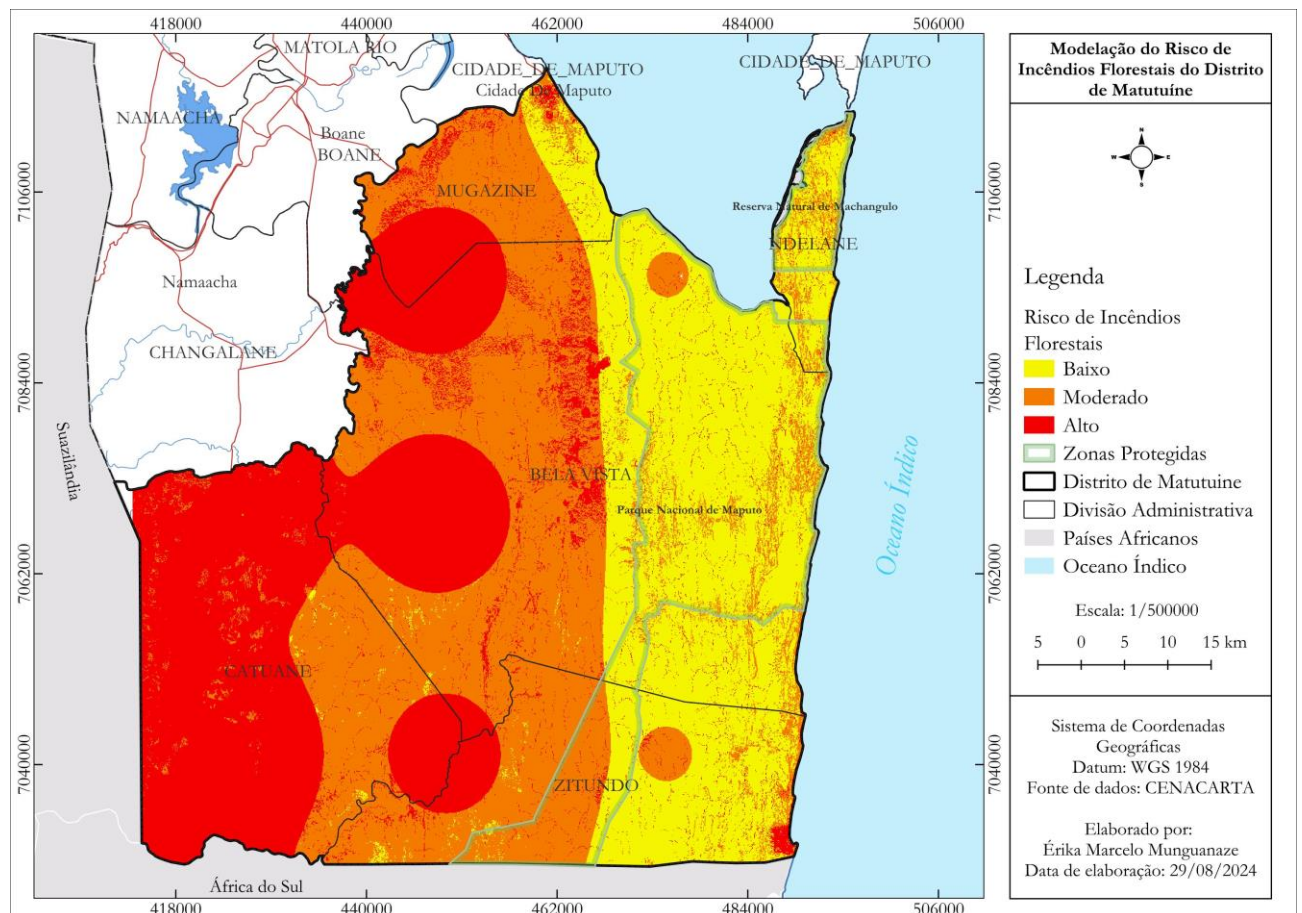


Figura 26: Suscetibilidade ao Risco de Incêndio Florestal e Áreas de Influência

As regiões que apresentam um risco baixo de incêndios estão representadas pela cor amarela, localizadas principalmente na zona costeira e próximas ao Oceano Índico. Essas áreas são caracterizadas por uma humidade mais elevada, devido à proximidade com o mar, o que reduz a susceptibilidade aos incêndios. A vegetação dessas áreas é menos propensa à propagação de fogo, e a influência climática marítima contribui para manter o risco reduzido. Já as áreas de risco moderado, representadas pela cor laranja,

encontram-se mais afastadas da costa e situam-se em altitudes intermediárias. Nessas regiões, a vegetação é mais densa e o clima menos húmido, o que aumenta ligeiramente o risco de incêndios. Essas zonas têm declividades moderadas e estão próximas de vias de acesso, o que pode facilitar o combate a incêndios, mas também potencializar a propagação, especialmente em períodos de seca. As áreas de risco alto, destacadas pela cor vermelha, concentram-se nas regiões ao centro do Distrito e próximas às fronteiras entre África do Sul e a Suazilândia. Essas áreas apresentam uma vegetação mais densa e são altamente susceptíveis à ignição e propagação de incêndios devido às características do solo e à exposição a temperaturas elevadas. Além disso, a presença de vias de acesso facilita o transporte, mas também aumenta o risco de incêndios causados por actividades humanas. A distância dos recursos hídricos e das áreas costeiras contribui para o agravamento do risco, pois reduz a humidade e dificulta o combate aos incêndios.

A classe de susceptibilidade baixa a incêndios florestais ocupa a menor área no Distrito de Matutuíne, abrangendo apenas 30.20% do distrito. Em contrapartida, a classe de susceptibilidade moderado, que indica áreas com maior risco de incêndios florestais, apresenta a maior cobertura espacial, correspondendo a 36.99% do Distrito.

Tabela 28: Classe de Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal

Classe de Susceptibilidade	Área (ha)	Área (%)
Alto	174 192.22	32.81%
Moderado	196 361.52	36.99%
Baixo	160 290.27	30.20%
Total	530 844.01	100%

As áreas de susceptibilidade moderada e alta, que juntas representam cerca de 69,80% do Distrito de Matutuíne, indicam uma predominância de condições propícias à ocorrência de incêndios florestais, seja por factores biofísicos, como vegetação densa e topografia, ou por características climáticas e de uso do solo. Esta concentração nas classes moderada e alta reforça a necessidade de estratégias de gestão e prevenção, a fim de minimizar os riscos e mitigar os impactos de eventuais incêndios. Por outro lado, as áreas classificadas com baixa susceptibilidade, abrangendo 30,20% do distrito, representam zonas onde o risco de incêndios é reactivamente reduzido. Nesses locais, as características ambientais e de uso do solo contribuem para uma menor probabilidade de ocorrência e propagação do fogo, o que pode ser aproveitado para a implementação de áreas de refúgio ou zonas de segurança contra incêndios, no entanto, embora estas áreas possuam menor probabilidade de incêndios devido à sua tipologia vegetal e proximidade com cursos ou corpos de água, elas ainda desempenham um papel estratégico na dispersão de incêndios advindos de zonas de risco alto.

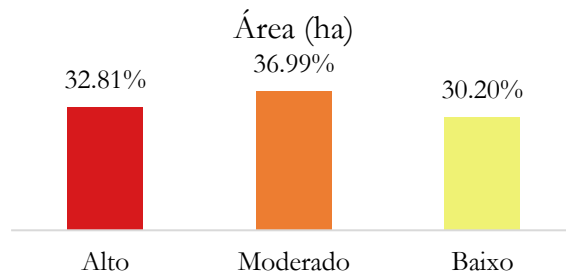


Figura 27: Distribuição Percentual das Classes de Susceptibilidade ao Risco de Incêndio Florestal

Considerando a distribuição espacial dos postos administrativos e a proximidade com áreas protegidas como o Parque Nacional de Maputo e a Reserva Natural de Machangulo, a susceptibilidade indica que a configuração geográfica e ecológica do distrito influencia a distribuição das classes de risco, evidenciando zonas de vulnerabilidade crítica associadas a factores biofísicos e antrópicos. As áreas de alto risco, concentradas nas regiões oeste e central do distrito, incluindo postos de Catuane e Belavista, caracterizam-se por ecossistemas vegetativos densos, com tipologia predominantemente arbustiva e herbácea, que, combinada com condições de alta temperatura e baixa humidade durante o período seco, resultando em um ambiente propenso à combustão rápida e à propagação intensiva de incêndios. A análise detalhada das características do distrito através das variáveis adoptadas, sugere uma alta continuidade de material combustível, o que facilita a ocorrência de incêndios de grande escala e, potencialmente, de incêndios de copa.

A Reserva Natural de Machangulo, localizada a este do distrito e considerada uma área de susceptibilidade moderada a baixa, reflete um padrão de risco contrastante. Sua posição geográfica próxima ao Oceano Índico e a presença de vegetação menos densa diminuem a intensidade e a frequência dos incêndios florestais. Por outro lado, a localização de áreas de alto risco próximo ao Parque Nacional de Maputo acentua as preocupações sobre a segurança da biodiversidade regional.

Conclusões e Recomendações

O presente estudo aplicou técnicas de modelação espacial para avaliar a susceptibilidade ao risco de incêndios florestais no Distrito de Matutuíne, utilizando a metodologia AHP integrada aos Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota. Os resultados indicam que aproximadamente 32.81% da área do Distrito apresenta susceptibilidade alta a incêndios, enquanto 36.99% apresenta risco moderado e 30.20% risco baixo. As áreas de maior risco estão concentradas a Este e na região central do Distrito, caracterizadas por vegetação, maior exposição a temperaturas elevadas e condições ambientais propícias à ignição e propagação do fogo.

A análise dos factores condicionantes revelou que a precipitação foi o factor de maior influencia na ocorrência dos incêndios, enquanto que o Modelo Digital Elevação teve a menor influencia. A consistência do modelo desenvolvido foi validado pela Razão de Consistência (RC), que resultou em 0.035 confirmando a confiabilidade da ponderação dos factores.

O resultado apresentado na representação da susceptibilidade indicou que a maior parte do Distrito apresenta risco moderado e risco alto de ocorrência de incêndios, representando 69.8% da área total. As zonas mais vulneráveis estão associadas a vegetação e maior influencia de actividade humana, enquanto áreas com menor risco estão predominantemente próximas de áreas com menor densidade de vegetação e influencia humana.

6.1. Recomendações

O problema dos incêndios florestais no Distrito de Matutuíne exige uma abordagem integrada que envolva as autoridades locais, as comunidades e outras partes interessadas. Somente por meio de esforços conjuntos e sustentáveis será possível reduzir os impactos ambientais e sociais dos incêndios, preservando tanto a biodiversidade da região quanto as condições de vida das populações locais.

Portanto, com as informações obtidas através do modelo de risco de incêndio, é possível adoptar medidas de conscientização das comunidades locais e preservação desenvolvendo programas de conscientização direccionados aos pastores, agricultores e as comunidades sobre os riscos dos incêndios florestais, abordando alternativas sustentáveis para regeneração do pasto e gestão do fogo de modo a reduzir ou evitar a ocorrência de incêndios, especialmente, nas áreas com moderado e alto risco de incêndios. Tais medidas podem ser exemplificadas por: aceiros, sinalização, vigilância, práticas de manejo e ocupação do solo e, assim, certificar a prevenção e a redução de incêndios no Distrito de Matutuíne.

Referências Bibliográficas

- Bacani, V. M. (2016). *Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul*.
- Bergonse, R., Oliveira, S., Gonçalves, A., Nunes, S., da Câmara, C., & Zêzere, J. L. (2021). A combined structural and seasonal approach to assess wildfire susceptibility and hazard in summertime. *Natural Hazards*, 106(3), 2545–2573. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04554-7>
- Borja Pimenta, L., Beltrão, N. E. S., Gemaque, A. M. da S., & Amador Tavares, P. (2019). Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. *Interações (Campo Grande)*, 407–420. <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>
- Buffon, E. A. M. (2018). Vulnerabilidade socioambiental à leptospirose humana no aglomerado urbano metropolitano de Curitiba, Paraná, Brasil: proposta metodológica a partir da análise multicritério e álgebra de mapas. *Saúde e Sociedade*, 27(2), 588–604. <https://doi.org/10.1590/s0104-12902018170096>
- Burrough, & McDonnell. (1998). *Um conjunto de ferramentas para reunir, introduzir, armazenar, recuperar, transformar e cartografar dados espaciais sobre o mundo real com o fim de satisfazer múltiplos propósitos*.
- Câmara, G., Davis, C. A., Garcia, A. L., Monteiro, A. M. V., & Santos, R. A. V. (2007). *Análise Espacial e Geoprocessamento*. São José dos Campos: INPE.
- Câmara, G. ;, & Freitas, U. M. (1995). *Perspectivas em sistemas de informação geográfica*.
- Cao, Y., Wang, M., & Liu, K. (2017). Wildfire Susceptibility Assessment in Southern China: A Comparison of Multiple Methods. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8(2), 164–181. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0129-6>
- Carlos, A., Ronaldo, B., & Soares, V. (2011). *ALEXANDRE FRANÇA TETTO CURITIBA SENAR-PR 2011*.
- Chuvieco, E. (2009). *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*.
- Chuvieco, E., & Congalton, R. (1989). *Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping*. *Remote Sensing of Environment*.

- Cochrane, M. A., & Ryan, K. C. (2009). *Fire and fire ecology: Concepts and principles* In: Cochrane, Mark A., ed. *Tropical fire ecology: Climate change, land use, and ecosystem dynamics*, Chichester: Praxis Publishing.
- Conjo, M. P. F. (2021). MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE À INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 7(11), 1669–1689. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i11.3243>
- Davis, K. P. e B. G. M. ., (1959). *FOREST FIRE CONTROL AND USE*.
- ESRI. (2025). modelagem espacial. Obtido 3 de Fevereiro de 2025, de <https://support.esri.com/pt-br/gis-dictionary/spatial-modeling>
- EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. B.; PANETO, G. G.; SCHETTINO, V. R.. *Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. Journal of Environmental Management*, v. 173, p. 65-71, 2016.
- FAO. (2012). *No Title*.
- Goldammer, J. G. (1982). *Incêndios florestais*.
- Grandzol. (2005). *APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERARQUICO (AHP) PARA PRIORIZAÇÃO DE OBRAS DE INTERVENÇÃO EM ÁREAS E SETORES DE RISCO GEOLÓGICO NOS MUNICÍPIOS DE ITAPECERICA DA SERRA E SUZANO (SP) APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HI*.
- Jensen, J. R. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*.
- Kuhn, T. S. (1962). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Leuenberger, M., Parente, J., Tonini, M., Pereira, M. G., & Kanevski, M. (2018). Wildfire susceptibility mapping: Deterministic vs. stochastic approaches. *Environmental Modelling & Software*, 101, 194–203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.019>
- Luís Piroli, E. (2010). *INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO*. Obtido de <https://www.researchgate.net/publication/321109871>
- Macorreia, M. E. (2020). *EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA MITIGAÇÃO DO FOGO FLORESTAL COM A SUA FAUNA-BRAVIA INDISCRIMINADO EM SUSSUNDENGA-MOÇAMBIQUE*.
- MAE. (2012). *REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE MINISTÉRIO PARA A COODERNAÇÃO DA ACCÇÃO AMBIENTAL PERFIL AMBIENTAL E MAPEAMENTO DO USO ACTUAL DA*

TERRA NOS DISTRITOS DA ZONA COSTEIRA DE MOÇAMBIQUE VERSÃO
PRELIMINAR Distrito de Matutuine Província de Maputo.

- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas.
- Martell, D. L. ., (1998). *FOREST FIRE MANAGEMENT Current practices and new challenges for operational researchers*.
- MICOA. (2007). *Plano de acção para a prevenção e controlo as queimadas descontroladas*.
- Morgera, E., & Cirelli, M. (2009). *Forest fires and the law A guide for national drafters based on the Fire Management Voluntary Guidelines*, Rome.
- Nhongo, E., Fontana, D., & Guasselli, L. (2020). *Spatio-temporal patterns of wildfires in the Niassa Reserve—Mozambique, using remote sensing*.
- Padrão, A., Duarte, L., & Teodoro, A. C. (2022). A GIS Plugin for Susceptibility Modeling: Case Study of Wildfires in Vila Nova de Foz Côa. *Land*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/land11071093>
- PAPCQD. (2007). *REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL PLANO DE ACÇÃO PARA A PREVENÇÃO E CONTROLO ÀS QUEIMADAS DESCONTROLADAS*.
- Pereira, A. D. J., Oliveira Junior, I. de, & Lobão, J. S. B. (2020). ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO EM AMBIENTE DE CAATINGA. *Geo UERJ*, (37), e39260. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.39260>
- Peterson, D. L. (2001). *Fire and vegetation dynamics: Studies from the temperate zone* .
- Ramirez, M. R. (1994). *Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados para Geoprocessamento*.
- Rawat, G. S. ., (2003). *Fire Risk Assessment For Forest Fire Control Management In Chilla Forest Range Of Rajaji National Park Uttaranchal*.
- Ribeiro, G. (2002). *Formação e Treinamento de Brigada de Incêndio Florestal*.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Saaty. (1987). *The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. Mathematical Modelling*.
- Saaty. (1990). *How to make a decision: the analytic hierarchy process*.
- Saaty. (1994). *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*.
- Saaty. (1980). *The analytic hierarchy process: planning priority setting allocation*.

- Schumacher, M. V., Dick, G., & Maria, S. (2018). *UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS INCÊNDIOS FLORESTAIS 3ª edição-revisada.*
- Soares, R. V. (1985). *Incêndios Florestais: Controle e uso do fogo.*
- Sousa, W. P. da S. (2019). *Adaptação transcultural da Multidimensional Scale of Perceived Social Support (MSPSS) para o português (Brasil).* Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- Teixeira Neto. (2011). *Prevenção e combate de incendios florestais .*
- Yasmina Santos, M., & Alfredo Amaral, L. (2002). *Técnicas de modelação de informação geográfica: uma síntese.*

Apêndices

Apêndice 1: Aplicação do método AHP na tomada de decisão

Para a tomada de decisão multicritério foi usado o processo analítico hierárquico, onde realizou-se 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.

Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	DEM	1.8%	9	0.7%	0.7%
2	TEMP	2.5%	8	0.8%	0.8%
3	ASP	3.5%	7	1.1%	1.1%
4	UCT	5.1%	6	1.5%	1.5%
5	EST	7.4%	5	2.1%	2.1%
6	DECL	10.8%	4	2.9%	2.9%
7	POP	15.5%	3	4.2%	4.2%
8	TWI	22.2%	2	6.4%	6.4%
9	PREC	31.2%	1	10.5%	10.5%

Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11
2	2.00	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.12
3	3.00	2.00	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14
4	4.00	3.00	2.00	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17
5	5.00	4.00	3.00	2.00	1	0.50	0.33	0.25	0.20
6	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1	0.50	0.33	0.25
7	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1	0.50	0.33
8	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1	0.50
9	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	1

Number of comparisons = 36

Consistency Ratio CR = 3.5%

Principal eigen value = 9.401

Eigenvector solution: 5 iterations, delta = 8.1E-8

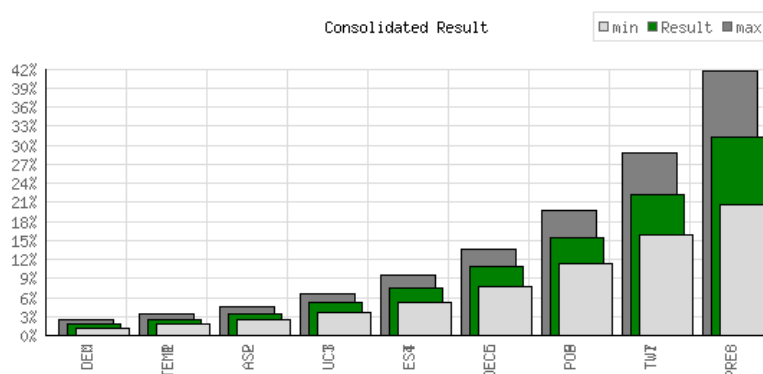


Figura 28: Matriz de decisão

Apêndice 2 : Classificação dos incêndios florestais

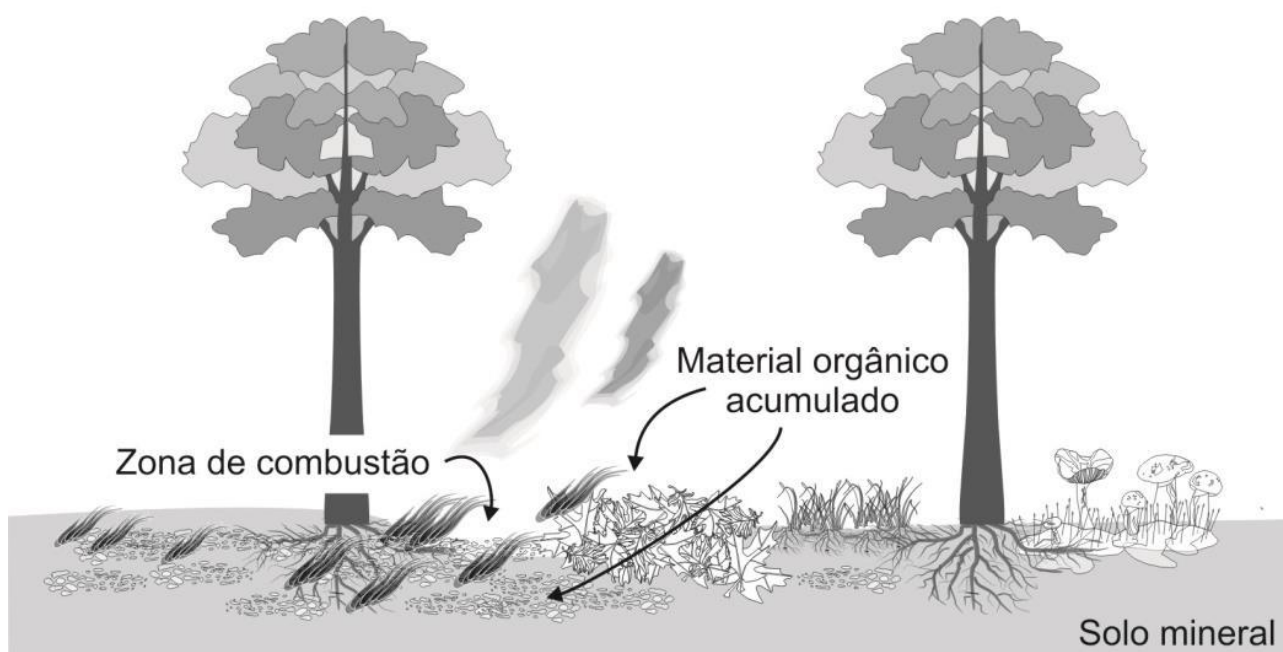


Figura 29: Incêndio subterrâneo (Fonte: Schumacher et al., 2013)

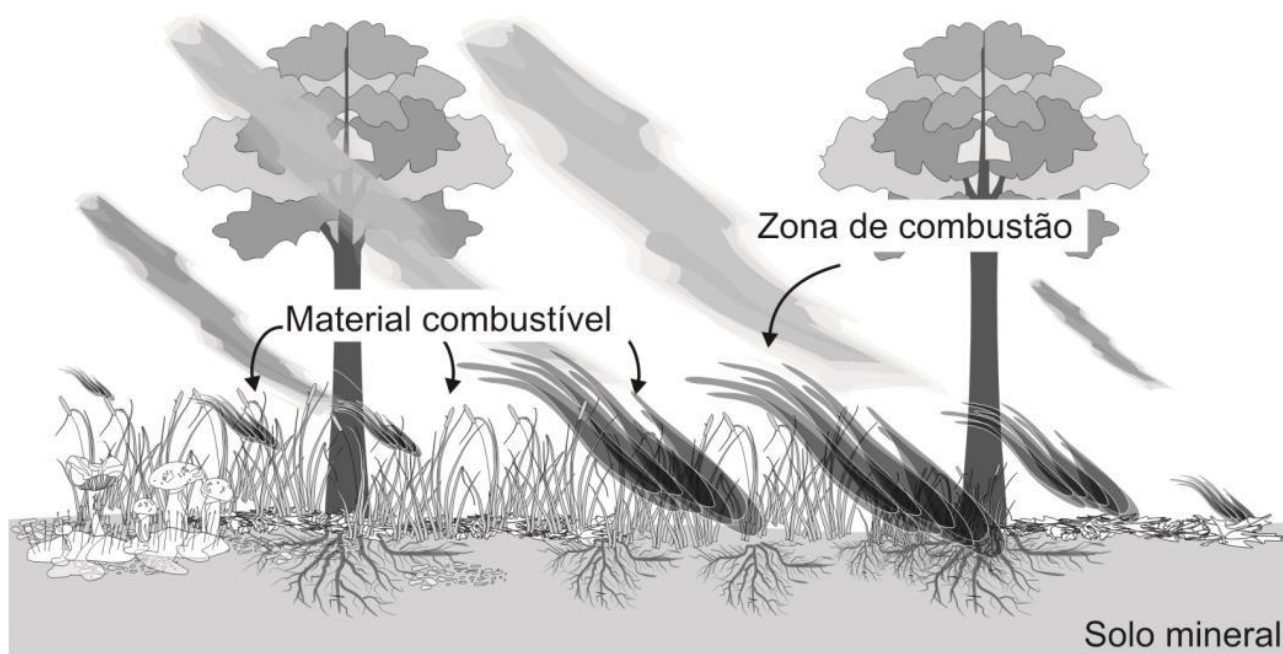


Figura 30: Incêndio de superfície (Fonte: Schumacher et al., 2013)

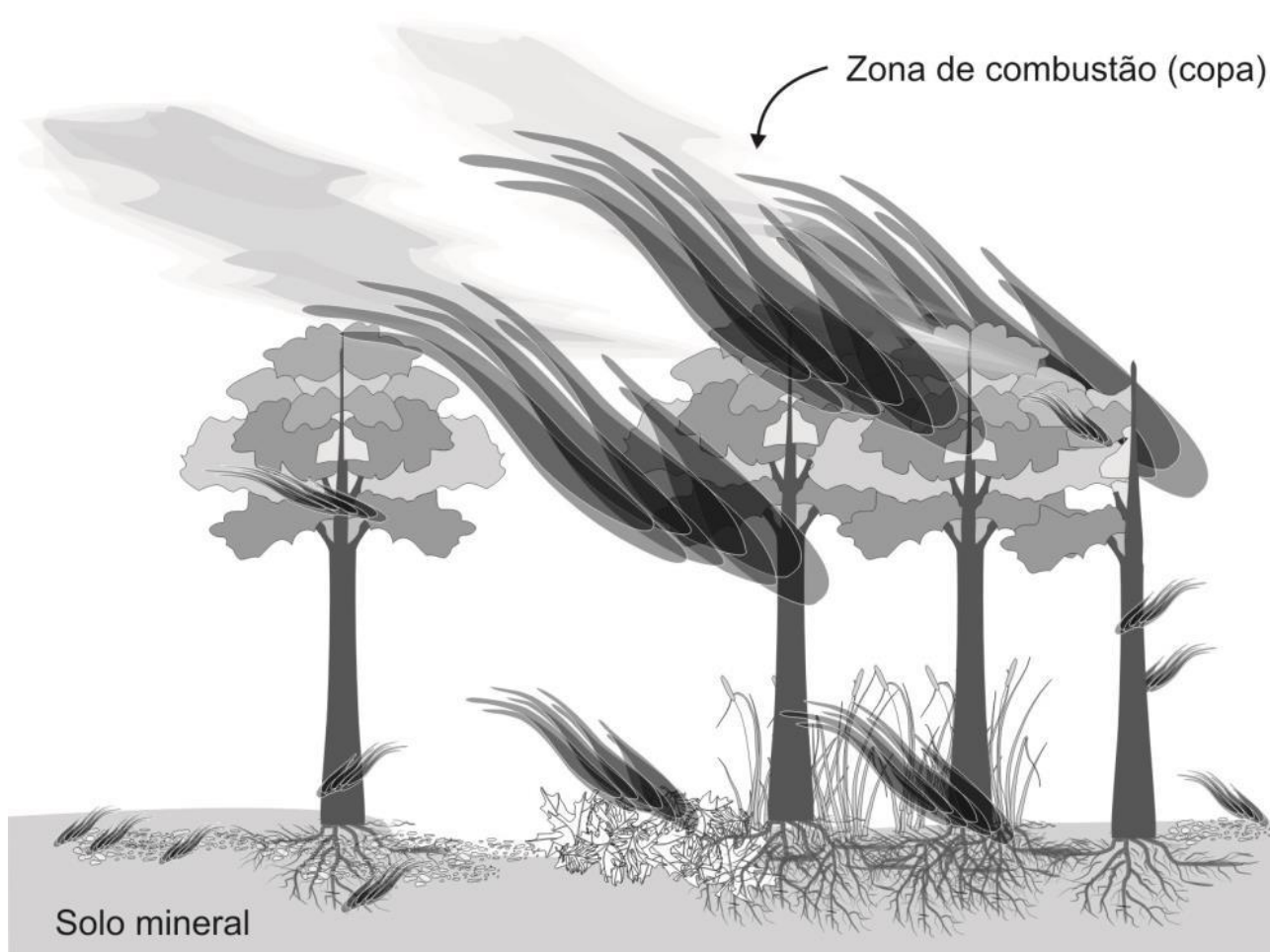


Figura 31: Incêndio de copa (Fonte: Schumacher et al., 2013)

Apêndice 3: Propagação do fogo: no aclive (a) e no declive (b).

Como regra básica, há tendência do fogo se propagar mais rapidamente nos aclives (a) do que nos declives (b). Quanto maior a inclinação do terreno, maior a velocidade de propagação do fogo (Teixeira Neto, 2011)

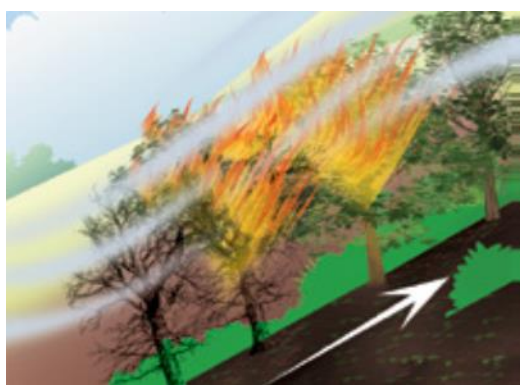


Figura 32: Propagação do fogo no aclive (a)

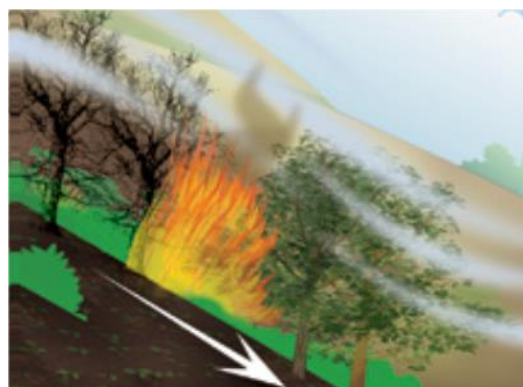


Figura 33: Propagação do fogo no declive (b)

Apêndice 4: Uso e Cobertura do Solo

As classes do Mapa de uso e cobertura do solo foram divididas em sete, sendo elas: Corpos de Água, Área Vegetada, Zonas Húmidas, Plantações, Área Construída, Área de Cultivo e Solo Exposto.

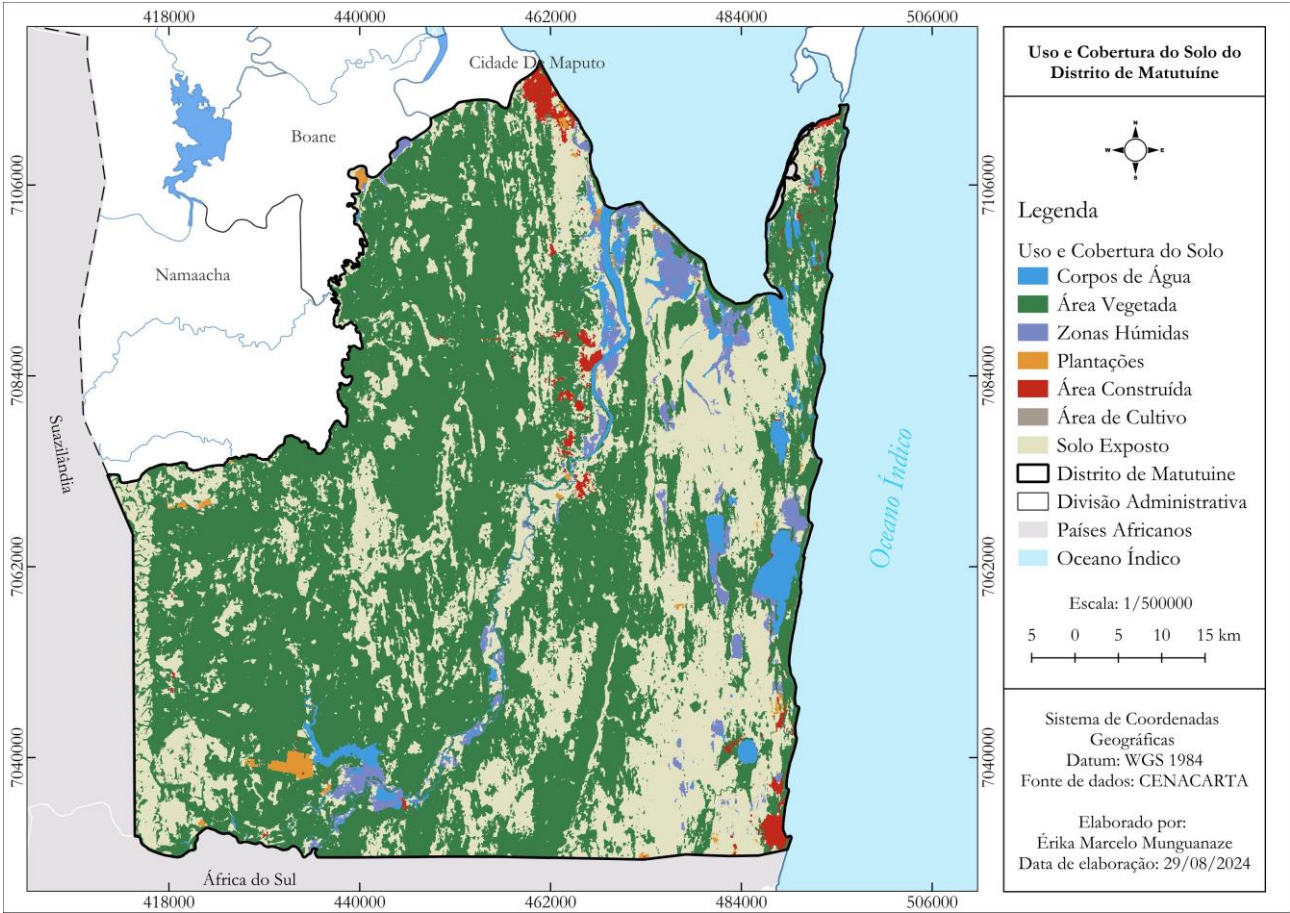


Figura 34: Mapa de Uso e Cobertura do Solo