

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHERIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

THUELEM AZEVEDO CURTY

**MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO AO
MAPEAMENTO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2023

THUELEM AZEVEDO CURTY

**MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO AO
MAPEAMENTO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Dr. Alexandre Rosa dos Santos

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2023

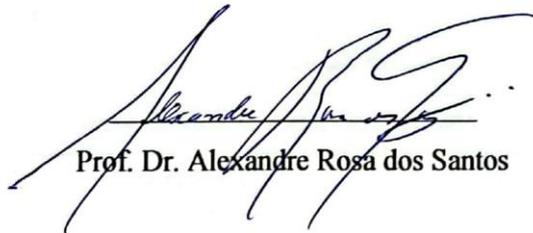
THUELEM AZEVEDO CURTY

**MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO AO
MAPEAMENTO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 27 de janeiro de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos


Prof. Dr. Nilton César Fiedler


Ma. Taís Rizzo Moreira

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, por sempre me iluminar e guiar.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Alexandre Rosa dos Santos, pelo acompanhamento de minha trajetória acadêmica e por acreditar em meu potencial.

Agradeço a minha família pelo apoio e incentivo constante. Ao meu noivo Plinio Antonio Guerra Filho pelas inúmeras ajudas e compreensão e por ter sido meu suporte sempre que precisei. Aos meus amigos por tornarem a caminhada mais agradável.

Agradeço aos professores que tanto contribuíram nesses anos de UFES.

RESUMO

O mapeamento do risco de incêndio é um elemento básico para o planejamento da proteção de determinada área, pois proporciona melhor visualização da distribuição espacial do risco e possibilita melhor adequação dos recursos e equipamentos destinados tanto à prevenção quanto ao combate, de acordo com o nível de perigo de cada região ou município. Segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo (CBMES), só em janeiro de 2021 foram registrados 333 focos de incêndio em vegetação, mais que o triplo quando comparado ao mesmo período do ano de 2020, em que contabilizou-se 90 ocorrências, levando a um aumento de 270%. Neste contexto, objetiva-se mapear o Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROIF) por meio da aplicação do Método de Análise Hierárquica (AHP) como alternativa à análise multicritério, para o estado do Espírito Santo, Brasil. A metodologia proposta integra geotecnologias e o método AHP para modelar as complexas interações entre vegetação, topografia e clima, bem como atividades sociais, econômicas e antrópicas, a fim de mapear áreas vulneráveis. A partir do mapeamento foi possível observar que a área que compreende a região Central, Serrana e do Caparaó apresentam risco baixo e moderado e algumas manchas também ao Norte. As áreas com Alto Risco são encontradas na região do extremo Norte capixaba, na região Noroeste do estado e extremo Sul, próximo à divisa com o estado do Rio de Janeiro. As classes que predominaram no estado foi o risco Muito Alto e Alto com 33,55% e 31,02%, respectivamente, deixando em evidência a importância de se monitorar essas áreas.

Palavras-chave: geotecnologias; inteligência artificial; proteção florestal.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.2 Objetivo Geral	10
1.1.3 Objetivos Específicos	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Incêndios Florestais	11
2.2 Classificação dos incêndios florestais	11
2.3 Prevenção e combate de incêndios florestais	12
2.4 Análises de risco	13
2.5 Papel do sistema de informação geográfica (SIG) na análise de risco	14
2.6 Método de Análise Hierárquica	14
3 METODOLOGIA	15
3.1 Localização da área de estudo	15
3.2 Etapas metodológicas	16
3.2.1 Aquisição, edição e rasterização do banco de dados	16
3.2.2 Aplicação do Método de Análise Hierárquica	22
3.2.3 Mapa de Risco de Incêndios Florestais pelo Método AHP	25
3.2.4 Reclassificação espacial do risco de ocorrência de incêndios florestais.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÃO	34
6 REFERÊNCIAS	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de comparadores do método AHP.....	24
Tabela 2 - Matriz de comparação pareada com os valores de importância mútua para o modelo de Risco de Incêndios Florestais.....	24
Tabela 3 - Pesos para cada variável do ROIF no estado do Espírito Santo.....	25
Tabela 4 - Quebras naturais de Jenks e respectivas classes de ROIF.....	26
Tabela 5 - Área do risco de incêndios florestais para os municípios do estado do Espírito Santo.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo.....	15
Figura 2 – Fluxograma metodológico.....	16
Figura 3 – Fator Biológico: Uso e Cobertura da Terra – UCT, (V1).....	17
Figura 4 – Fatores Topográficos: Altitude em metros (V2), Declividade em porcentagem (V3) e Aspecto (V4).....	19
Figura 5 – Fator Socioeconômico: Proximidade das estradas, em metros (V5).....	20
Figura 6 – Fatores Meteorológicos: Temperatura, em graus (V6), Precipitação, em milímetros (V7) e Deficiência Hídrica, em milímetros (V8).....	21
Figura 7 – Variáveis reclassificadas. V1 – Uso e Cobertura da Terra (UCT), V2 – Altitude em metros, V3 – Declividade em porcentagem, V4 – Aspecto, V5 – Proximidade de Estradas, em metros, V6 – Temperatura, em graus, V7 – Precipitação, em milímetros e V8 – Deficiência Hídrica, em milímetros.....	27
Figura 8 - Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais para o estado do Espírito Santo por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP). (a) Mapa com as classes de risco, (b) Área (km ²), Perímetro e Porcentagem (%) por classe, (c) Distribuição das classes de risco (%).....	30

1 INTRODUÇÃO

No que se refere aos prejuízos provocados pelos incêndios, têm-se os de ordem humana (perda de vidas), os de ordem ambiental (danos a fauna e flora) e os de ordem econômica (prejuízos às florestas, além dos custos envolvidos no combate ao fogo), considerando ainda que a ocorrência dos incêndios varia em função da época do ano, causa, local, tipo de vegetação e área atingida (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006)

Diante da dificuldade, dos danos provocados e custos de se combater um incêndio florestal, a prevenção é a melhor alternativa (SOARES, 1985). Assim, qualquer ação para prevenção dos incêndios deve buscar a mitigação ou eliminação das causas e, nos casos em que a prevenção não é suficiente para evitar a deflagração de um foco de incêndio, a rápida detecção deslocamento e combate constitui um fator decisivo para que seja possível minimizar os danos provocados pelo fogo e a redução dos custos associadas ao seu combate.

O modelo de risco gerado com a detecção de áreas susceptíveis pode ser considerado uma excelente ferramenta, pois proporcionará uma visualização da distribuição espacial do perigo em toda a área possibilitando uma adequação dos recursos e equipamentos destinados à prevenção e combate, com base no nível de perigo para cada região.

As avaliações do risco de incêndios são ferramentas de apoio à decisão que integram informações referentes à probabilidade e magnitude da resposta do recurso a fatores de risco, a fim de sintetizar uma conclusão e auxiliar na tomada de decisão. Além de informarem na tomada de decisão estratégica, tática e operacional, e são usadas em modelos de apoio à decisão desenvolvida por pesquisadores e especialistas em gestão (BAR MASSADA et al., 2009; SIKDER; MAL-SARKAR; MAL, 2006).

Cada vez mais, a avaliação do incêndio está sendo vista como uma forma de gestão de risco, com um correspondente aumento no rigor analítico e alinhamento com os princípios de modelo de risco. O desenvolvimento e utilização de modelos de avaliação de risco de incêndio pode auxiliar na tomada de decisão ativa e preventiva (GONZÁLEZ et al., 2007)

Segundo Van Wagtenonk (1990), a utilização de técnicas geotecnológicas como ferramenta de auxílio a pesquisa e manejo de incêndios florestais ocorreu no Parque Nacional de Yosemite, EUA, e teve como objetivos: comparar dados históricos sobre a incidência de fogo de acordo com a topografia e com o tipo de vegetação; analisar a incidência de raios; e analisar o regime de fogo com base no clima, na vegetação, no material combustível e na topografia.

Em suma, as novas tecnologias de informação e de tratamento de dados espaciais (redes, internet, computação gráfica, comunicação, imageamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas - SIG, dentre outras) se tornaram instrumentos indispensáveis ao geoplanejamento, possibilitando além da espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e processamento dos dados necessários às análises, como no caso da escolha de locais para implantação de torres de detecção de incêndios florestais (VEIGA e SILVA, 2004).

De acordo com Santos, Soares e Batista (2006) tratando-se dos efeitos lesivos dos incêndios para a preservação do meio ambiente, são necessárias políticas protecionistas adequadas às características de cada região. Portanto, é necessário conhecer a época do ano e o porquê da sua ocorrência, ou seja, traçar o perfil dos incêndios de cada região é de extrema importância para o estabelecimento das políticas que tem por objetivo o controle e a prevenção deles. Nesse contexto, torna-se necessário o estudo para a determinação de locais de risco de incêndio para o estado do Espírito Santo.

1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo Geral

Mapear o Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROIF) por meio da aplicação do Método de Análise Hierárquica (AHP) para o estado do Espírito Santo, Brasil.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Gerar imagens rasterizadas das seguintes variáveis: Uso e Cobertura da Terra (UCT), altitude, declividade, aspecto, proximidade de estradas/rodovias, deficiência hídrica, precipitação pluvial e temperatura;
- Modelar com o método AHP os fatores biológicos, meteorológicos, topográficos e socioeconômicos que se relacionam com o risco de ocorrência de incêndios florestais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Incêndios Florestais

INDECI (2006), define os incêndios florestais como a propagação livre e não programada do fogo sobre a vegetação, em bosques, selvas, zonas áridas e semiáridas. Incêndios florestais podem ocorrer a partir de ações antrópicas (incendiários, fumantes, queimada de limpeza etc.) ou a partir de causas naturais como raios. Da mesma forma, FIEDLER et al., (2020), descrevem os incêndios florestais como sendo todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser provocado pelo ser humano (intencionalmente ou por negligência) ou por fontes naturais, como raios.

Segundo Costa (2009), os incêndios florestais podem ocorrer em diversos biomas, unidades de conservação, fazendas, margens de estradas, próximo a áreas urbanas, áreas de reflorestamento e outros locais, muitas vezes, causando prejuízos econômicos, sociais paisagísticos e ecológicos.

Ao se tratar dos danos provocados por incêndios florestais, tem-se os de ordem humana (perda de vidas), de ordem ecológica (danos à flora e fauna) e de ordem econômica (danos às florestas e gastos com o combate). Tendo em vista que a ocorrência desses eventos varia de acordo com a estação do ano, fonte, localização, tipo de vegetação e área afetada (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006).

Com relação aos efeitos negativos dos incêndios para a proteção do meio ambiente, são indispensáveis medidas protecionistas que respondam às características locais. Portanto, é necessário conhecer as estações do ano e os motivos de sua ocorrência. Sendo assim, o rastreamento do perfil de incêndios florestais de cada região é fundamental no desenvolvimento de estratégias voltadas ao controle e prevenção de incêndios florestais (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006).

2.2 Classificação dos incêndios florestais

Os incêndios florestais podem ser classificados em: superficiais, de copa e subterrâneos.

- a) **Incêndio de superfície**: é um tipo de fogo que se propaga na superfície da floresta queimando todo material combustível até 1,80 metros de altura (BARRIOS, 2019). É o tipo de incêndio mais comum e mais fácil de ser combatido e são caracterizados por sua propagação relativamente rápida (FIEDLER; SANT'ANNA; RAMALHO, 2020).

- b) Incêndios de copa: é o tipo de incêndio que se propaga através das copas das árvores, consumindo todo material combustível acima de 1,80 metros de altura. Geralmente ele é proveniente do incêndio de superfície, tendo exceções como no caso de raios. (FIEDLER; SANT'ANNA; RAMALHO, 2020).
- c) Incêndios subterrâneos: Denomina-se incêndio subterrâneo ou de solo aquele que se propaga pelas camadas de húmus e turfas existentes abaixo do solo da floresta até cerca de 15 cm do solo mineral (OLIVEIRA, 2019). Por ser de difícil detecção e combate, os incêndios subterrâneos causam danos expressivos ao ciclo biológico da fauna e da flora, ao solo e aos recursos hídricos da região (FIEDLER; SANT'ANNA; RAMALHO, 2020).

2.3 Prevenção e combate aos incêndios florestais

A prevenção inclui todas as atividades destinadas a prevenir a ocorrência e propagação do fogo. Assim, o principal objetivo da prevenção é eliminar ou minimizar todas as possíveis causas de incêndios e antecipar a tomada de decisão, caso ocorra. Se todos os incêndios forem evitados, o objetivo das operações de combate a incêndios será plenamente alcançado (SANTA'ANNA et al., 2007).

A melhor maneira de evitar um incêndio florestal é evitar que ele ocorra. Portanto, sensibilizar as pessoas sobre os riscos e danos causados pelo fogo é a melhor técnica para prevenir os incêndios causados pela ação humana, pois, quando se tem consciência dos malefícios do fogo descontrolado, o maior cuidado com o seu manuseio em áreas florestais será consequência (NEUMMANN, 1996; SOARES, 2000).

No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é uma organização pública nacional que atua na prevenção de incêndios florestais, por meio do Prevfogo - Centro Nacional de Prevenção e Controle de Incêndios Florestais. O Prevfogo foi criado em 1989 em resposta a dados alarmantes coletados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sobre *hotspots* no Brasil.

A prevenção pode ser realizada por diferentes técnicas, citadas por Sant'Anna (2007), tais como: educação ambiental; regulamentação do uso da floresta; aplicação da legislação; construção e manutenção de aceiros; redução do material combustível; cortinas de segurança e construção de açudes e locais para captação de água. Contudo, a prevenção não é feita apenas por meios analógicos, mas também, através de medidas em campo para tentar evitar o avanço do fogo.

Bento-Gonçalves (2012) assegura que a elaboração de mapeamentos de risco de incêndio, com auxílio das geotecnologias, constitui-se de uma ferramenta importante para avaliar os potenciais efeitos sobre a vegetação após a ocorrência de incêndios florestais, consolidando uma importante ação para a prevenção dos incêndios.

Quando se trata de combate, agir rapidamente antes que o fogo se espalhe e fique fora de controle é a maneira mais eficaz. Para que isso seja possível, porém, é essencial um bom sistema de detecção, que consiga detectar um incêndio por até quinze minutos e agilizar a intervenção da equipe para controlar o incêndio.

2.4 Análises de risco

A modelagem de risco de incêndio envolve a avaliação de perigos e vulnerabilidades. O termo “perigo” é utilizado para descrever a possibilidade de ocorrência de um incêndio, seja pela sua natureza ou por agentes diretos (MALIK, et al, 2013). Também é possível que haja algumas consequências econômicas, sociais e/ou ambientais em um determinado território durante um determinado período, devido ao impacto de um evento indesejado de origem natural ou artificial. É obtido relacionando a ameaça à vulnerabilidade dos fatores de exposição (IDEAM, 2011).

INDECI (2006) define risco como o conjunto de ações e procedimentos executados em um centro populacional específico ou área geográfica, a fim de coletar informações sobre a identificação de perigos naturais e / ou tecnológicos e a análise das condições de vulnerabilidade, para determinar ou calcular o risco esperado (probabilidade de danos: perda de vida e infraestrutura).

As análises de risco permitem adotar medidas preventivas e de mitigação ou redução de desastres. Parâmetros fundamentais na gestão de desastres a partir da identificação de perigos naturais ou induzidos pelas atividades humanas e a análise de vulnerabilidade. Estes fornecem informações seguras, em detalhes sobre áreas com alto risco de incêndios florestais.

2.5 Papel do Sistema de Informação Geográfica (SIG) na análise de risco

Há cerca de três décadas, o SIG começou a desempenhar um papel de liderança na caracterização, diagnóstico e planejamento de espaços naturais. Dada a grande variedade e complexidade dos fenômenos envolvidos na ocorrência e propagação de incêndios, foi

necessário maximizar os impactos na busca de ferramentas e soluções eficientes para a proteção dos recursos naturais renováveis (PÉREZ, 2007).

A aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) está aumentando e se especializa em paralelo com desenvolvimentos de software e hardware. O SIG tornou-se uma ferramenta importante em vários âmbitos da ciência florestal. Uma das aplicações do SIG no campo florestal são os incêndios florestais. A partir do estabelecimento de um banco de dados em tempo real do estado dos incêndios, análise de dados para disparos durante o incêndio e para uma melhor previsão de incêndios, fazendo simulações em programas que integram o SIG (YILMAZ, 2005).

2.6 Método de Análise Hierárquica

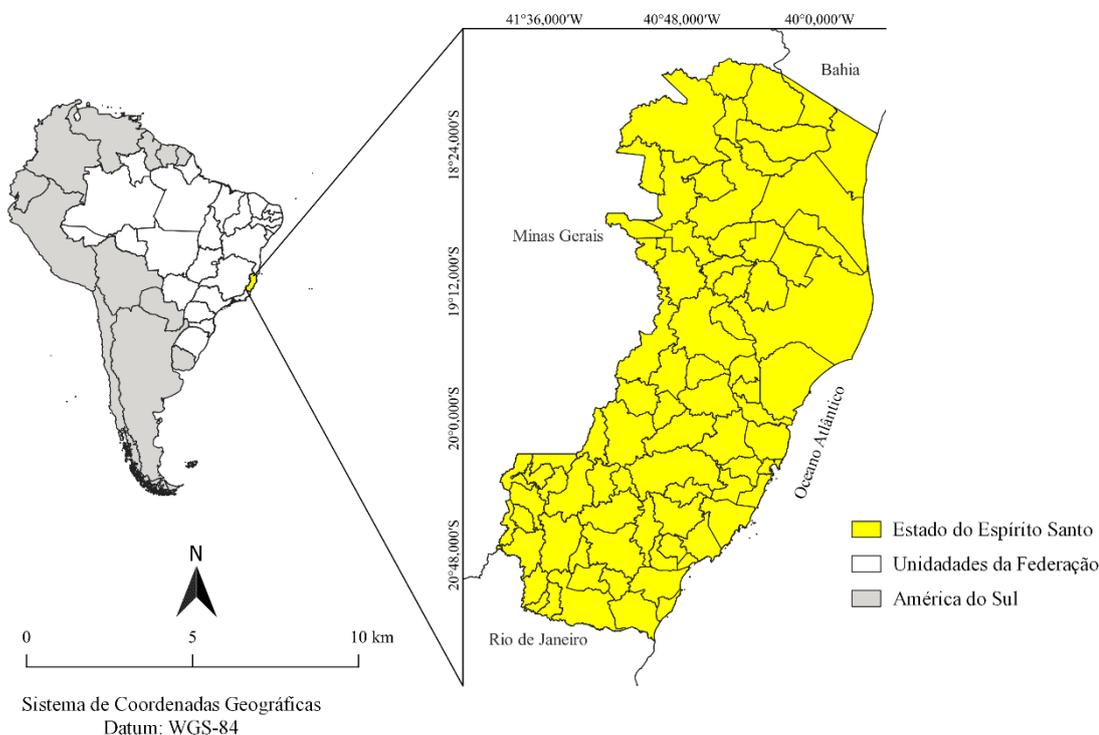
De acordo com Saaty (1990), o fundamento do Método de Análise Hierárquica (AHP) é a decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho. O método AHP é usado para a criação de uma hierarquia de decisão, onde o mesmo é composto por níveis hierárquicos que permitem uma visualização mais ampla sobre as relações que estão sendo processadas. Para formular o nível de importância de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação entre os níveis, onde tais níveis serão ponderados (SILVA; NUNES, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 Localização da área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Espírito Santo (Figura 1), sudeste do Brasil, que possui área total de 46.052,64 km², localizada entre os paralelos 17°53'29'' e 21°18'03'' de latitude Sul e os meridianos 39°41'18'' e 41°52'45'' longitude Oeste de Greenwich, e faz fronteira com o Oceano Atlântico a leste, o estado da Bahia para o norte, do estado de Minas Gerais a Oeste, e do estado do Rio de Janeiro a Sul.

Figura 1 – Estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: autora, 2023.

Segundo a classificação climática de Köppen, o estado apresenta sete tipos climáticos: Af, clima tropical úmido; Am, clima tropical úmido ou subúmido; Aw, clima tropical com inverno seco; Cfa: clima temperado úmido com verão quente; Cfb, clima temperado úmido com verão temperado; Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; Cwb, clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado, e Cwc, clima temperado úmido com inverno seco e verão curto e fresco.

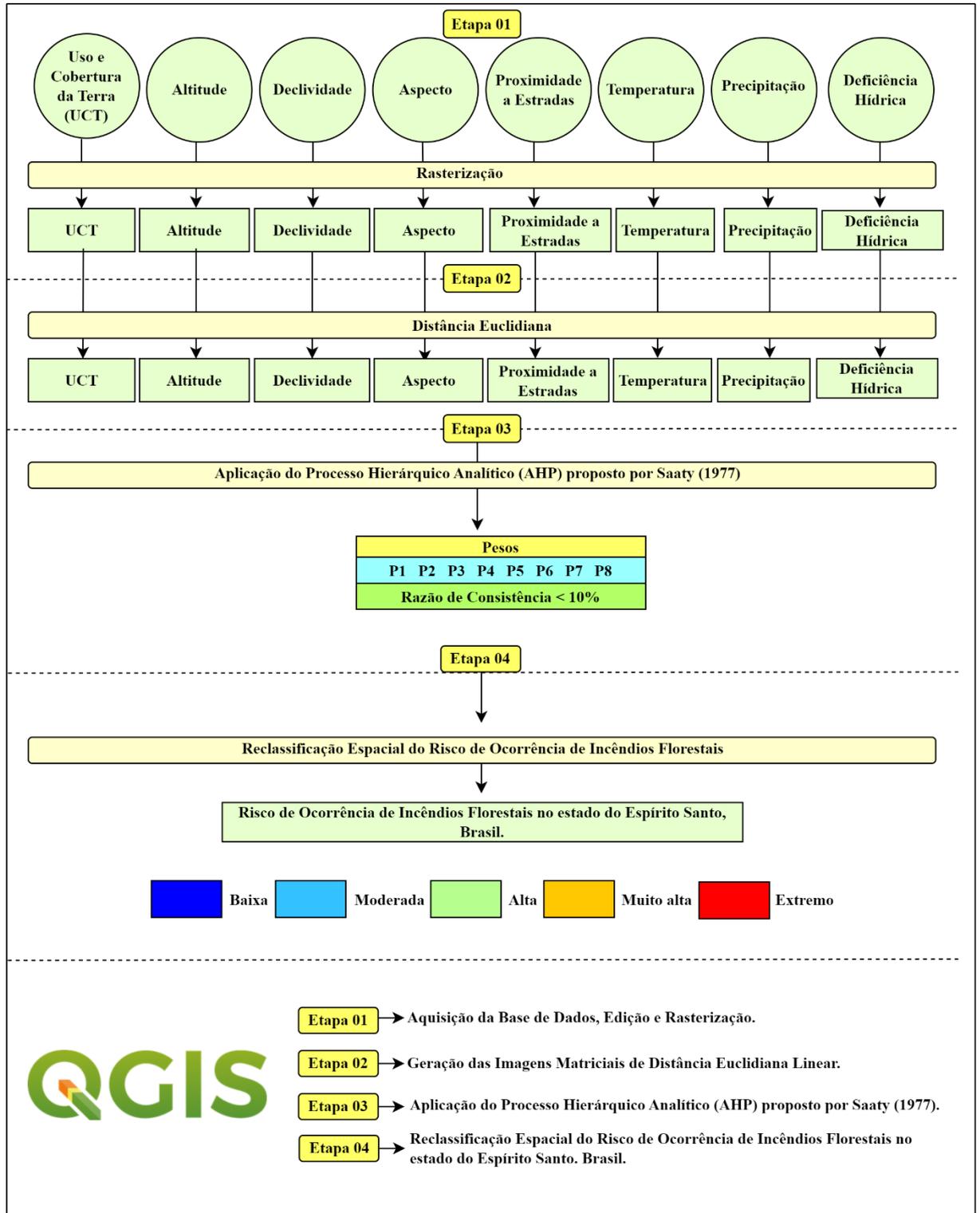
3.2 Etapas Metodológicas

3.2.1 Aquisição e processamento do banco de dados

Na modelagem do Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais (ROIF), foram analisadas variáveis divididas em quatro tipos de fatores: biológicos (uso e cobertura da terra), topográficos (Aspecto, Declividade e Altitude), socioeconômicos (proximidade de estradas/rodovias) e meteorológicos (precipitação, temperatura, disponibilidade hídrica). O desenvolvimento desta etapa, como aquisição, edição e rasterização de cada variável de acordo

com seu respectivo fator foi feito por meio do software QGIS versão 3.22.11 Białowieża de acordo com os seguintes procedimentos metodológicos:

Figura 2 – Fluxograma metodológico.



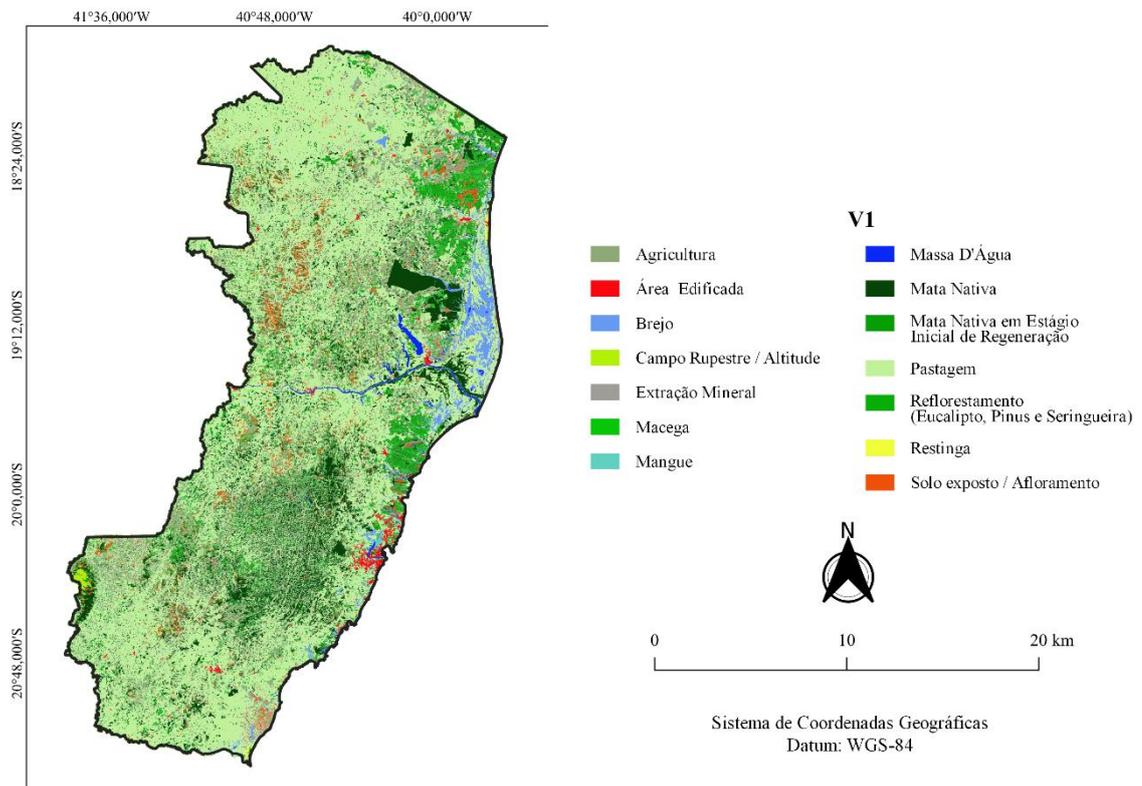
Fonte: a autora, 2023.

a) Fator biológico

Foi realizada a classificação de uso e cobertura da terra (Figura 2) e para isso foram utilizadas imagens de satélite da região em estudo, disponíveis no sítio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS* – (<https://earthexplorer.usgs.gov>)).

O mapeamento foi realizado por meio da classificação supervisionada do satélite Sentinel 2 com uma resolução espectral de 10 m, na aplicação computacional QGIS 3.22.11 Białowieża. O UCT foi baseado no ortofotomosaico do IEMA (2007-2008) com 1 metro de resolução espacial, sendo que a técnica usada foi a “Classificação Supervisionada pela Máxima Verossimilhança”.

Figura 2 – Fator Biológico: Uso e Cobertura da Terra – UCT, (V1).



Fonte: autora, 2023.

b) Fatores topográficos

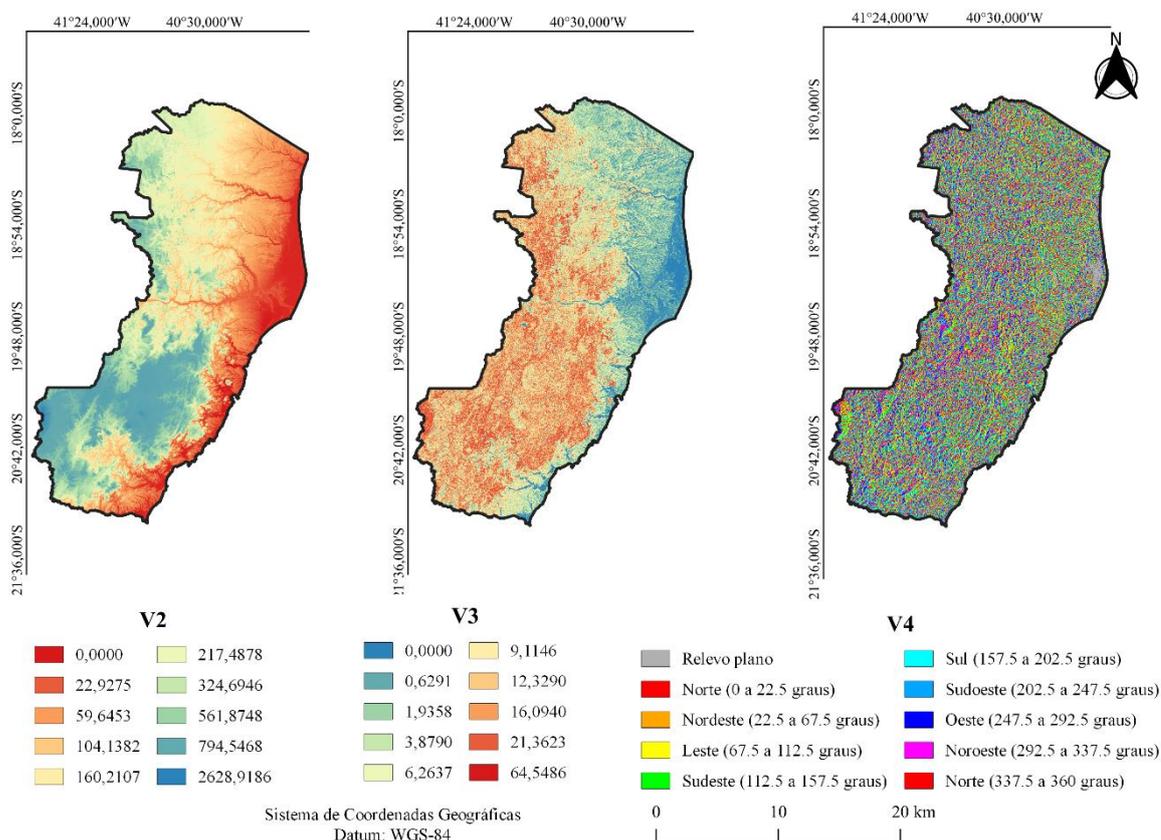
Os dados topográficos (Figura 3) também influenciam no risco de incêndio, dentre eles temos:

Declive: A imagem da matriz de declive foi processada usando a função intitulada “declive”. Recebeu como entrada o Modelo Digital de Elevação, SRTM, pré-processado (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 m. Esses dados foram obtidos no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Posteriormente, a imagem da matriz de declividade foi reclassificada em seis classes de relevo, a saber: plana, suavemente ondulada, ondulada, fortemente ondulada, montanhosa e escarpada (Francelino et al., 2012). Este processo foi realizado com a função "Reclassificar".

Altitude: A imagem de matriz contínua de altitude foi derivada do modelo digital de elevação SRTM com resolução espacial de 30 m. Esses dados estão disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A imagem da matriz contínua de Altitude foi reclassificada a partir da função “Reclassificar por Tabela” com cinco classes espaciais.

Aspecto: A imagem de matriz contínua de aspecto foi derivada do modelo digital de elevação SRTM usando a função "Orientação". Posteriormente, a imagem de matriz contínua de aspecto foi reclassificada em uma imagem de matriz discreta com nove classes espaciais definidas como Plana, Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

Figura 3 – Fatores Topográficos: Altitude em metros (V2), Declividade em porcentagem (V3) e Aspecto (V4).



Fonte: autora, 2023.

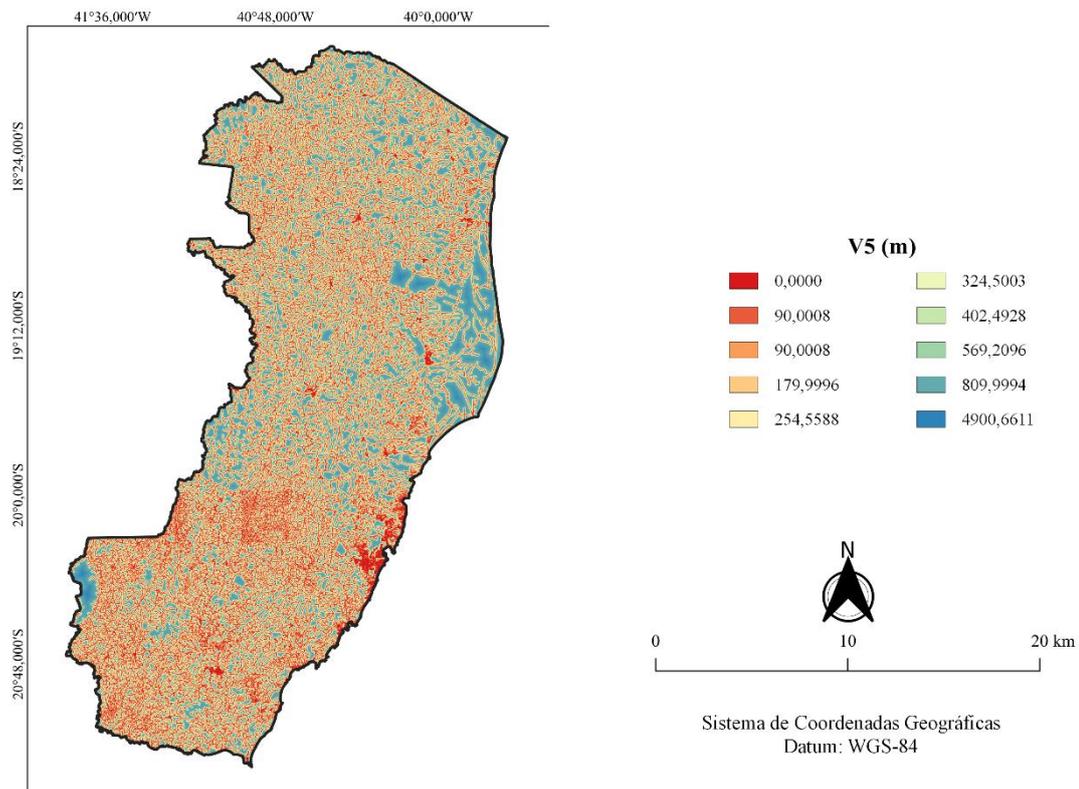
c) Fatores socioeconômicos

Dentro dos fatores socioeconômicos (Figura 4) foram considerados áreas urbanas e rurais, proximidade a rede viária e a proximidade a rede hidrográfica.

Proximidade de estradas: a rede de estradas da área de estudo, incluindo estradas urbanas e interurbanas, foi obtida no sítio do *Open Street Maps* (<https://www.openstreetmap.org/#map=4/-15.13/-53.19>). Para gerar a imagem matricial de proximidade de rodovias, primeiramente foi utilizada a função intitulada "Buffer", tendo como entrada a feição vetorial da rede rodoviária. Uma área de influência de 100 m (buffer) em torno das estradas foi estabelecida segundo JAISWAL et al. (2002), devido ao maior deslocamento de veículos e pessoas nesta faixa. Por fim, a proximidade das estradas foi obtida por meio da

função intitulada "Proximidade", que calcula a distância mais próxima em linha reta entre dois pontos, que são representados pelo centro de suas células correspondentes. Em um plano, a distância entre os pontos $A (Xa, Ya)$ e $B (Xb, Yb)$ é dada pelo teorema de Pitágoras (LOUZADA et al., 2010; SANTOS et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2018).

Figura 4 – Fator Socioeconômico: Proximidade das estradas, em metros (V5).



Fonte: autora, 2023.

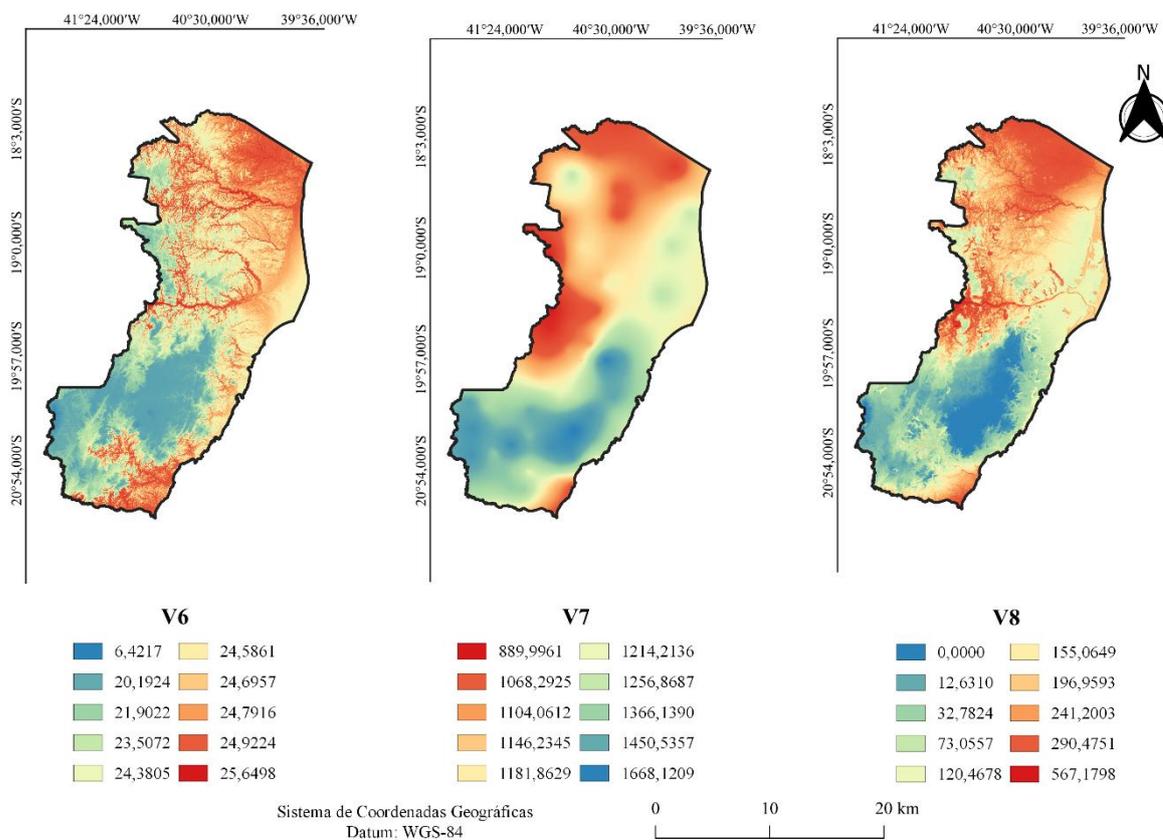
d) Fatores meteorológicos

Dentro dos fatores meteorológicos (Figura 5) foram considerados:

Temperatura e precipitação pluvial: foram utilizadas imagens matriciais mensais de temperatura e precipitação de 1970 a 2000 (versão lançada de janeiro de 2020), com resolução espacial 1 km². Elas foram obtidas no banco de dados *WorldClim versão 2.1* (<https://www.worldclim.org/>). Posteriormente, as imagens matriciais foram cortadas, reprojctadas e reamostradas (resolução espacial de 30 m) pelas funções “Extrair por Máscara”, “Reprojetar Coordenadas” e “Reamostrar”, respectivamente.

Disponibilidade hídrica: a imagem da matriz de disponibilidade hídrica foi gerada de acordo com o balanço hídrico agroclimatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Os dados foram obtidos no site do *WorldClim* (<https://worldclim.org/>), correspondendo a imagens matriciais de 1970-2000 de temperatura média mensal, evapotranspiração potencial e capacidade de água, que foram processadas por meio do complemento "BHCgeo" (CRUZ et al., 2013), disponível no software QGIS.

Figura 5 – Fatores Meteorológicos: Temperatura, em graus (V6), Precipitação, em milímetros (V7) e Deficiência Hídrica, em milímetros (V8).



Fonte: autora, 2023.

3.2.2 Aplicação do Método de Análise Hierárquica

A função de pertinência mais adequada foi definida para cada conjunto ou variável, a fim de descrever sua influência sobre o risco de ocorrência de incêndios florestais. Assim, o risco de ocorrência de incêndios florestais foi dividido em 5 classes: Baixo, Moderado, Alto, Muito alto e Extremo. Foi utilizado um sistema online para a aquisição dos pesos do Método AHP Proposto por Saaty. A função utilizada foi AHP Priority Calculator.

Variável 1 (V1) - Uso e Cobertura da Terra (UCT)

A classificação do UCT permitiu compreender os padrões de organização do espaço geográfico onde foi possível identificar as classes de uso e ocupação do solo. Posteriormente, o arquivo vetorial poligonal foi convertido em formato matricial e as classes de UCT reclassificadas em relação à influência que cada classe exerce ao ROIF. Foi utilizada uma tabela com as classes de UCT e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 2 (V2) – Altitude

A imagem da matriz contínua de altitude foi obtida a partir da função “Reclassificar por Tabela”, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da altitude e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 3 (V3) - Declividade

Áreas com declives acentuados têm um maior potencial de risco a incêndios florestais do que as áreas com declives suaves. A imagem matricial de declividade foi obtida a partir da função “Reclassificar por Tabela”, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da declividade e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 4 (V4) - Orientação do relevo (Aspecto)

A orientação do relevo apresenta também um efeito direto na propagação de um incêndio pela variação da intensidade do vento e radiação solar incidente sobre o terreno. A imagem de matriz contínua de aspecto foi derivada do modelo digital de elevação SRTM usando a função intitulada “Orientação”. Para a geração da imagem matricial de aspecto ajustado foi utilizada a função “Calculadora Raster”. Após isso foi realizada a geração da imagem matricial de classes de aspecto a partir da ferramenta “Reclassificar por tabela”, obtendo-se assim 10 classes de aspecto. Para isso foi utilizada uma tabela com a classificação do aspecto e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

A influência da orientação do relevo ao risco de incêndios foi programada no QGIS, sendo considerada a face Norte (0 e 360°) como de maior risco e a face Sul (180°) como de menor risco. O relevo plano foi considerado como risco nulo ao incêndio florestal.

Variável 5 (V5) - Proximidade a estradas

A proximidade a estradas foi determinada por meio da função “Proximidade”. Para o estudo da variável proximidade a estradas rurais e urbanas, foi utilizada a função “Calculadora Raster”. A imagem matricial de Proximidade das Estradas foi obtida a partir da função intitulada Reclassificar por tabela, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da proximidade de estrada e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 6 (V6) - Temperatura

O ROIF aumenta à medida que a temperatura aumenta. Nesse sentido, a imagem matricial discreta da temperatura foi obtida a partir da função “Reclassificar por Tabela”, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da temperatura média anual do ar e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 7 (V7) – Precipitação pluvial

As chuvas reduzem o ROIF no momento de sua ocorrência. Nesse sentido, a imagem matricial discreta da precipitação pluvial foi obtida a partir da função “Reclassificar por Tabela”, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da precipitação média anual e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

Variável 8 (V8) - Deficiência hídrica

O ROIF aumenta à medida que a deficiência hídrica aumenta. Nesse sentido, a imagem matricial discreta da deficiência hídrica foi obtida a partir da função “Reclassificar por Tabela”, onde foi utilizada uma tabela com a classificação da deficiência hídrica média anual e o seu peso atribuído para o Risco de Incêndios Florestais no estado do Espírito Santo.

3.2.3 - Mapa de Risco de Incêndios Florestais pelo Método AHP

Primeiramente, foi possível determinar por meio da síntese de valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada variável, priorizando e classificando-as em uma escala de comparação par a par, tornando possível definir linearmente a hierarquia entre os fatores, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala de comparadores do método AHP.

VALORES	IMPORTÂNCIA MÚTUA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1997), apud Rosot (2000).

A partir da Tabela 2 foi possível observar a matriz de comparação com seus respectivos valores de importância mútua com relação a outro fator. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da esquerda é mais importante em relação a cada o fator da linha superior. Logo, ao comparar um fator com ele mesmo o único valor possível é 1, pois possui importância igual. Portanto, o fator precipitação pluvial é 8 vezes mais importante que o fator altitude.

Tabela 2 - Matriz de comparação pareada com os valores de importância mútua para o modelo de Risco de Incêndios Florestais

	ALT	TEMP	ASP	UCT	EST	DEC	DEF	PREC
ALT	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8
TEMP	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7
ASP	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
UCT	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5
EST	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4
DEC	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3
DEF	7	6	5	4	3	2	1	1/2
PREC	8	7	6	5	4	3	2	1

Fonte: Adaptado de Eugenio et al. (2016).

Por meio do sistema online utilizado para a aquisição dos pesos do Método AHP proposto por Saaty e utilizando a função AHP Priority Calculator, foi possível obter os pesos estatísticos para cada variável estudada (Tabela 3).

Tabela 3 – Pesos para cada variável do ROIF no estado do Espírito Santo.

VARIÁVEL	SIGLA	PESO
Uso e Cobertura da Terra	UCT	0.070935
Altitude	ALT	0.023561
Temperatura	TEMP	0.032696
Declividade	DEC	0.157238
Aspecto	ASP	0.047680
Proximidade a estradas	EST	0.105905
Precipitação Pluvial	PREC	0.331322
Deficiência Hídrica	DEF	0.230663

Para a validação dos pesos calculados a Razão de Consistência (RC) tem que ser inferior a 10% (0,10). O valor de RC calculado foi igual a 0.029384, sendo menor que 0,10, logo os pesos calculados para o ROIF no estado do Espírito Santo são aceitáveis.

A partir dos pesos estatísticos de cada variável, tem-se o modelo desenvolvido:

$$ROIF = 0.023561 * ALT + 0.032696 * TEMP + 0.047680 * ASP + 0.070935 * UCT + 0.105905 * EST + 0.157238 * DEC + 0.230663 * DEF + 0.331322 * PREC$$

Por fim, foi criado um mapa representando o risco potencial de incêndio florestal para cada variável analisada. Esses mapas anteriores foram então ponderados e combinados em um mapa que enfatizou as áreas sob risco de incêndio florestal. A ferramenta utilizada no QGIS foi a Calculadora Raster.

3.2.4 – Reclassificação espacial do risco de ocorrência de incêndios florestais

Nesta etapa, a função SIG "reclassificar" foi aplicada à imagem de matriz contínua de risco de incêndios florestais, utilizando o método de otimização proposto por Jenks para representar as classes Baixo, Moderado, Alto, Muito alto e Extremo. O Método de Otimização Jenks, também conhecido como Método de Classificação de Quebras Naturais de Jenks, é um método de agrupamento de dados projetado para determinar o melhor arranjo de diferentes

classes (Tabela 4). Isso é feito minimizando o desvio médio dentro das classes, enquanto maximiza o desvio médio entre as classes (JENKS, 1967; MCMASTER, 1997; SANTOS et al., 2017).

Tabela 4 - Quebras naturais de Jenks e respectivas classes de ROIF.

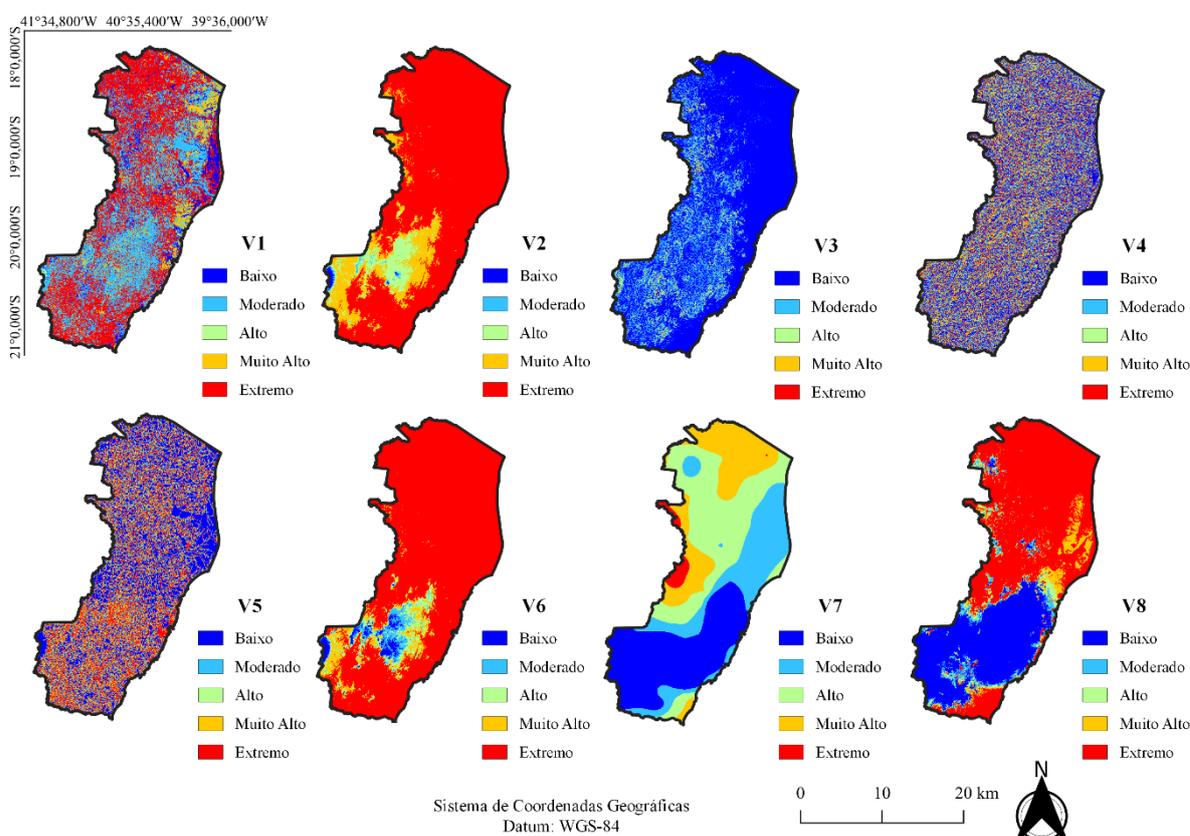
CLASSE DE RISCO	MÍNIMO	MÁXIMO	VALOR	COR
Baixo	1	1.641105	1	
Moderado	1.641105	2.437934	2	
Alto	2.437934	3.246710	3	
Muito alto	3.246710	4.188112	4	
Extremo	4.188112	4.795082	5	

Fonte: autora, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis reclassificadas podem ser visualizadas na Figura 7, que contém os quatro fatores: biológicos (Uso e Cobertura da Terra), topográficos (Aspecto, Declividade e Altitude), socioeconômicos (Proximidade de Estradas/Rodovias) e meteorológicos (Precipitação, Temperatura, Deficiência Hídrica).

Figura 7 – Variáveis reclassificadas. **V1** – Uso e Cobertura da Terra (UCT), **V2** – Altitude em metros, **V3** – Declividade em porcentagem, **V4** – Aspecto, **V5** – Proximidade de Estradas, em metros, **V6** – Temperatura, em graus, **V7** – Precipitação, em milímetros e **V8** – Deficiência Hídrica, em milímetros.



Fonte: autora, 2023.

A vegetação, dependendo da estrutura, espaçamento e senescência, é um dos principais fatores que influenciam a propagação de um incêndio florestal (OLIVEIRA, 2013). A partir disso, relação espacial entre o risco de ocorrência de incêndios e o uso e cobertura da terra evidenciou que em áreas de pastagem e florestas plantadas o risco foi muito alto ou extremo. O estado do Espírito Santo possui aproximadamente 58,67% dessas áreas em relação à sua área total (EUGENIO, 2014). Portanto o estado é bastante susceptível à ocorrência de incêndios florestais ao se falar em uso e cobertura da terra. É importante salientar que o acúmulo de

material combustível nas plantações de eucalipto/pinus facilita a propagação e deflagração de incêndios florestais, que são muito intensos e de difícil manejo (WHITE; WHITE; RIBEIRO, 2015).

As maiores altitudes são encontradas na região serrana do estado e na região do Caparaó, com isso alguns pontos da região Serrana possuem áreas com risco moderado, alto e muito alto de ocorrência de incêndio. O Norte do território capixaba está todo na faixa de índice muito alto e extremo de incêndios. Áreas com declives acentuados têm um maior potencial de risco a incêndios florestais do que as áreas com declives suaves, sendo possível observar que praticamente todo o estado fica na faixa de risco baixo de incêndio. A região central e oeste de todo o estado é onde se concentra maior risco, uma vez que nelas encontram-se a maior parte das elevações do estado. De acordo com RIBEIRO et al., (2008), o relevo exerce grande influência sobre o clima e, em menor escala, sobre a vegetação e conseqüentemente sobre o material combustível das diversas regiões terrestres, criando uma tendência do fogo de se propagar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives.

Em relação a orientação do terreno (aspecto), as baixas probabilidades da ocorrência de incêndios possuem face voltada para o Sul e as que possuem maior risco, faces voltadas para o Norte. Isso ocorre devido a face Norte possuir uma maior taxa de propagação do fogo por receber mais radiação solar (Hemisfério Sul), a face Oeste é a segunda a receber mais radiação solar, seguida da face Leste e a face Sul é a que menos se aquece (FIEDLER; SANT'ANNA; RAMALHO, 2020).

A proximidade com as estradas e trilhas apresenta um importante fator de risco para a vegetação, isso porque podem servir como quebra fogos ou caminhos para supressão do fogo, que nesse sentido, são um fator de redução do risco de incêndio, porém, são rotas potenciais para caminhadas ou áreas de camping. Nesse contexto, eles aumentam o perigo de risco de incêndio por causa da atividade intensa do ser humano (OLIVEIRA, 2013). Ao analisar o mapa de proximidade de estradas, é possível notar que quanto mais próximo da malha viária maior o risco de ocorrência de incêndios e quanto mais longe menor o risco. CIPRIANI et al., (2011) apontam que as estradas, ao mesmo tempo que facilitam o acesso aos bombeiros, servem de acesso a quem possa, intencionalmente ou não, iniciar a ignição de materiais combustíveis, o que faz com que a proximidade de estradas seja considerada um risco de incêndios,

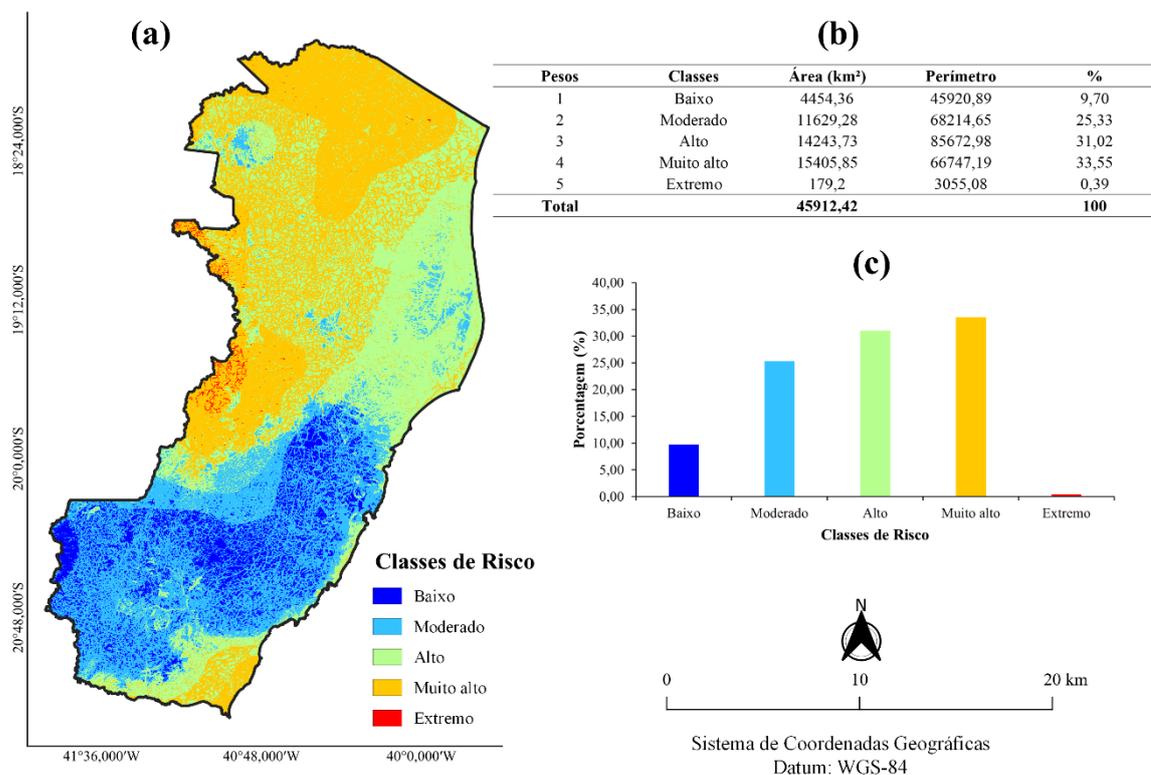
O mapa da temperatura reclassificada também possui seus maiores índices no Norte do estado. Entretanto, há uma área no extremo Sul do estado que possui altas temperaturas,

apresentando risco baixo e moderado na região Serrana e no Caparaó. Observa-se pelo mapa da precipitação pluvial que a região Sul do estado, ressaltando novamente a região Serrana e do Caparaó, é onde possui menor risco de ocorrência de incêndios florestais. Têm-se como os maiores riscos apresentados na região do extremo Norte capixaba e a região Noroeste do estado.

Na deficiência hídrica reclassificada foi possível observar que a região central, Serrana e do Caparaó com baixo risco. É possível observar também uma extensa faixa que cobre o Noroeste e quase todo o extremo Norte do estado, indo ao encontro da região classificada em processo de desertificação no estado, visto que, quanto maior a deficiência hídrica maior as chances de desertificação e de ocorrência de incêndios florestais.

A Figura 8 traz o Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais para o estado do Espírito Santo por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP). Ao lado tem-se a tabela e o gráfico com as classes de riscos.

Figura 8 - Risco de Ocorrência de Incêndios Florestais para o estado do Espírito Santo por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP). **(a)** Mapa com as classes de risco, **(b)** Área (km²), Perímetro e Porcentagem (%) por classe, **(c)** Distribuição das classes de risco (%).



Fonte: autora, 2023.

Ao realizar a modelagem do risco de incêndios florestais é necessário considerar os fatores biológicos, topográficos, socioeconômicos e meteorológicos, uma vez que as variáveis consideradas, uso e cobertura da terra (UCT), altitude, declividade, aspecto, proximidade de estradas, temperatura, precipitação e deficiência hídrica, estão direta ou indiretamente relacionadas com a ocorrência de incêndios florestais. Sendo estas de extrema importância no início e propagação do fogo.

A partir do mapeamento foi possível observar que a área que compreende a região Central, Serrana e do Caparaó apresentam risco baixo e moderado e também algumas manchas ao Norte do estado. As áreas com alto risco são encontradas na região do extremo Norte capixaba, na região Noroeste do estado e extremo Sul, próximo à divisa com o estado do Rio de Janeiro. As classes que predominaram no estado foi o risco muito alto e alto com 33,55% e 31,02%, respectivamente, deixando em evidência a importância de se monitorar essas áreas. Somando as áreas de risco alto, muito alto e extremo tem-se 64,96% do estado com risco de

ocorrência de incêndios florestais. Com base nisso é notória a importância de investir em aceiros, equipes de combate, educação ambiental, entre outras.

Para melhorar a compreensão, os valores foram associados aos 78 municípios para que se tenha um maior controle efetivo da situação. Na Tabela 5 é possível observar as classes de risco para cada município do estado do Espírito Santo.

Tabela 5 - Área do risco de incêndios florestais dos municípios do estado do Espírito Santo.

(continua)

Município	Classes de Risco de Incêndios				
	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	Extremo
Água Doce do Norte	0,02	8,03	47,42	44,52	0,01
Águia Branca	-	1,92	42,30	55,76	0,02
Afonso Cláudio	2,61	38,54	39,93	18,90	0,02
Alegre	18,46	77,56	3,96	0,01	-
Alfredo Chaves	45,16	54,81	0,02	-	-
Alto Rio Novo	0,004	10,71	80,86	8,43	-
Anchieta	17,44	69,26	12,59	0,72	-
Apiacá	11,14	49,93	32,76	6,17	-
Aracruz	2,88	27,63	67,13	2,36	-
Atílio Vivacqua	3,20	30,70	58,99	7,10	-
Baixo Guandú	-	0,22	9,70	78,57	11,50
Barra de São Francisco	0,09	4,66	32,54	62,52	0,19
Boa Esperança	-	-	7,74	92,24	0,02
Bom Jesus do Norte	7,90	44,64	45,11	2,36	-
Brejetuba	4,03	68,65	26,89	0,43	-
Cachoeiro de Itapemirim	13,92	67,10	18,68	0,29	-
Cariacica	27,14	70,97	1,89	-	-
Castelo	31,36	64,35	4,28	0,01	-
Colatina	0,002	1,37	26,32	72,04	0,27
Conceição da Barra	-	-	57,03	42,97	0,0003
Conceição do Castelo	39,13	60,44	0,42	0,01	-
Divino de São Lourenço	43,77	56,23	-	-	-
Domingos Martins	33,68	65,46	0,86	-	-
Dores do Rio Preto	47,72	52,28	-	-	-
Ecoporanga	0,04	3,47	29,26	67,13	0,10
Fundão	32,06	60,36	7,25	0,32	-
Governador Lindenberg	-	2,63	48,88	48,49	0,002
Guaçuí	28,96	70,70	0,34	-	-
Guarapari	23,00	61,21	14,44	1,35	-
Iúna	41,55	56,64	1,81	-	-
Ibatiba	27,00	67,00	5,99	0,01	-
Ibiraçu	32,67	62,15	5,18	0,004	-
Ibitirama	52,37	47,63	0,00002	-	-
Iconha	27,41	72,50	0,10	-	-
Irupi	38,53	60,88	0,58	-	-
Itaguaçu	-	1,28	12,97	84,23	1,52
Itapemirim	0,38	6,89	55,85	36,87	-
Itarana	-	29,35	35,09	35,47	0,09

Tabela 5 - Área do risco de incêndios florestais os municípios do estado do Espírito Santo.

(conclusão)

Município	Classes de Risco de Incêndios				
	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto	Extremo
Jaguareé	-	3,05	83,06	13,89	-
Jerônimo Monteiro	13,96	77,12	8,92	-	-
João Neiva	8,95	38,81	45,91	6,32	-
Laranja da Terra	-	0,34	13,13	86,00	0,53
Linhares	0,01	11,00	80,87	8,11	-
Mantenópolis	-	0,01	16,45	73,39	10,16
Marataízes	-	-	11,31	88,69	-
Marechal Floriano	49,03	50,97	-	-	-
Marilândia	0,0003	3,48	48,29	48,23	0,0025
Mimoso do Sul	12,42	39,19	38,71	9,68	-
Montanha	-	-	6,24	93,76	-
Mucurici	-	-	3,39	96,61	-
Muniz Freire	32,94	66,43	32,94	-	-
Muqui	22,55	76,04	1,41	0,002	-
Nova Venécia	-	0,19	22,67	77,10	0,04
Pancas	-	0,57	34,63	64,37	0,44
Pedro Canário	-	-	7,32	92,44	0,23
Piúma	4,76	77,69	15,88	1,66	-
Pinheiros	-	-	8,24	91,73	0,03
Presidente Kennedy	0,01	1,07	41,00	57,92	-
Rio Bananal	0,001	1,66	54,64	43,70	-
Rio Novo do Sul	21,51	75,89	2,60	-	-
Santa Leopoldina	40,11	59,86	0,03	-	-
Santa Maria de Jetibá	10,14	79,27	10,59	-	-
Santa Teresa	25,48	43,34	21,02	10,16	-
São Domingos do Norte	-	0,13	42,05	57,82	-
São Gabriel da Palha	-	0,03	38,34	61,64	-
São José do Calçado	14,27	78,20	7,51	0,02	-
São Mateus	-	0,79	67,74	31,46	0,002
São Roque do Canaã	0,17	7,42	32,48	59,78	0,15
Serra	24,06	65,60	9,99	0,35	-
Sooretama	-	0,05	85,83	14,12	-
Vargem Alta	44,17	55,57	0,26	-	-
Venda Nova do Imigrante	53,54	46,46	-	-	-
Viana	32,96	67,01	0,03	-	-
Vila Pavão	-	0,04	38,33	61,63	-
Vila Valério	-	0,23	48,14	51,63	-

Fonte: autora, 2023.

Existem 22 municípios com áreas em risco Extremo, que são: Água Doce do Norte, Águia Branca, Afonso Cláudio, Baixo Guandú, Barra de São Francisco, Boa Esperança, Colatina, Conceição da Barra, Ecoporanga, Governador Lindenberg, Itaguaçu, Itarana, Laranja da Terra, Mantenópolis, Marilândia, Nova Venécia, Pancas, Pedro Canário, Pinheiros, São

Mateus e São Roque do Canaã. Apenas Divino de São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Marechal Floriano e Venda Nova do Imigrante não possuem risco alto, muito alto ou extremo.

De acordo com os dados disponibilizados no site do BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#graficos>), os municípios que não apresentaram risco muito alto, alto ou extremo foram os que tiveram menor taxa de ocorrência de incêndios nos últimos anos, da mesma forma para os que apresentaram maiores riscos. Esses dados corroboram com os dados obtidos no presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

A metodologia adotada para análise do risco de incêndio florestal mostrou-se eficaz e eficiente ao produzir informações rápidas e precisas sobre a distribuição espacial do estado do Espírito Santo.

Observou-se que apenas Divino de São Lourenço, Dores do Rio Preto, Marechal Floriano e Venda Nova do Imigrante não possuem áreas classificadas com risco alto, muito alto ou extremo. Somando as áreas de risco Alto, Muito Alto e Extremo tem-se 64,96% do estado com risco de ocorrência de incêndios florestais. Com base nisso é notória a importância de investir em técnicas de prevenção, pré-supressão, combate, aceiros, equipes de combate, educação ambiental, entre outras.

Diante do exposto, foram obtidas informações relevantes para a tomada de decisão a serem consideradas tanto para ações de prevenção quanto de combate a incêndios florestais no estado do Espírito Santo, na busca pela otimização de recursos públicos, sendo uma metodologia aplicável a outras áreas de estudo incluindo variáveis adicionais que são relevantes para o início e propagação do fogo.

6. REFERÊNCIAS

- BAR MASSADA, A. et al. Wildfire risk in the wildland-urban interface: A simulation study in northwestern Wisconsin. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1990–1999, 2009.
- BARRIOS, H. M. H. **Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>>.
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; DIAS, P.; FERREIRA-LEITE, F.; LOURENÇO, L.; NUNES, A.; SALGADO, J. **Os grandes incêndios florestais de 2010 no Parque Nacional da Peneda-Gerês (Portugal)** - A importância das cartas de severidade na identificação de áreas críticas. XII Coloquio Ibérico de Geografia: Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual, Santiago de Compostela: Unidixital, p. 1027-1037, 2012. 1194 p.
- CIPRIANI, H. N. et al. Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 77–83, 2011.
- COSTA, E. P.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação - Estudo de caso na estação ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p.195-206, 2009.
- CRUZ, J.C., CARVALHO NETO, R.M., CRUZ, R.C., 2013. **Balanço Hídrico Climatológico. Geoespacializado em Raster - BHCgeo**.
- EUGENIO, F. C. **Geotechnology for allocating of observation towers of forest fires**. 2014. 115 f. Federal University of Espírito Santo, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/5031>>.
- FIEDLER, N. C.; SANT'ANNA, C. de M.; RAMALHO, A. H. C. **Incêndios Florestais**. Jerônimo Monteiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.
- FRANCELINO, M.R., REZENDE, E.M.C. de, SILVA, L.D.B. da, 2012. **Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto**. CERNE 18, 275–283. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000200012>.
- GONZÁLEZ, J. R. et al. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 219–228, 2007.
- INDECI, I. N. **Manual básico para la estimación del riesgo**. Lima - Peru: dirección nacional de prevención - dinapre; y la unidad de estudios y evaluación de riesgos - ueer. 2006.

INPE. **BDQueimadas**. Disponível em:

<<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#graficos>>.

JAISWAL, R. K. et al. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS.

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2002.

JENKS, G.F., 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *Int. Yearb. Cartogr.* 7, 186–190.

JUVANHOL, R. S. **Modeling of vulnerability to the occurrence and propagation of forest fires**. 2014. 78 f. Federal University of Espírito Santo, 2014.

LOUZADA, F. L. R. de O.; SANTOS, A. R.; SATTTLER, M. A. **Análise das áreas de preservação permanentes da bacia hidrográfica do ribeirão Estrela do Norte, ES**. *Revista de Biologia e Saúde da UNISEP, Paraná*, v. 3, n. 2, p. 128-141, jul./dez. 2009.

OLIVEIRA, A. L. S. de. **Centro de Tecnologia e Geociências Modelagem Espacial de Predição de Riscos de Incêndios com Lógica Fuzzy , Comparação e Validação** Orientador : Prof . Dr . Marcelo Antônio Nero André Luiz Sá de Oliveira **MODELAGEM ESPACIAL DE PREDIÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIO**. p. 178, 2013.

OLIVEIRA, T. M. DE. **Monitoramento Dos Focos De Calor E Do Risco De Incêndios Florestais No Município De Ituiutaba-Mg**. **Universidade Federal De Uberlândia**, 2019.

RIBEIRO, L. et al. Zoneamento De Riscos De Incêndios Florestais Para a Fazenda Experimental Do Canguiri, Pinhais (Pr). **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 561–572, 2008.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. **Wildfire**, v. 3, n. January 1994, p. 7–13, 1994.

SANT'ANNA, C. M; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. **Controle de incêndios florestais**. Alegre: Os autores, 2007, 152p.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil Dos Incêndios Florestais No Brasil Em Áreas Protegidas No Período De 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 93–100, 2006.

SIKDER, I. U.; MAL-SARKAR, S.; MAL, T. K. Knowledge-based risk assessment under

uncertainty for species invasion. **Risk Analysis**, v. 26, n. 1, p. 239–252, 2006.

SILVA, C. A. da; NUNES, F. de P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE**, p. 5435–5442, 2009.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais – controle e uso do fogo**. Curitiba: Fundação de Pesquisa florestal do Paraná, 1985. 213 p.

SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p.11-21, 2000.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R., 1955. **The water balance, in: Publications in Climatology**. Drexel Institute of Technology, Centerton, NJ, p. 104.

VAN WAGTENDONK, J. W. **GIS applications in fire management and research**. In: INTERNATIONAL SY.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento Aplicado à Identificação de Áreas Potenciais para Atividades Turísticas: O Caso do Município de Macaé (RJ)**. In: ZAIDAN, R.

T.; XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 179-215. (2004).

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Evaluation of Forest Fire Danger Indexes for Eucalypt Plantations in Bahia, Brazil. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, p. 1–6, 2015.

