



LEANDRO CARVALHO VIEIRA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ÁREA DA 6ª REGIÃO DA
POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS: SUBSÍDIO PARA O
PLANEJAMENTO E FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL**

**LAVRAS-MG
2024**

LEANDRO CARVALHO VIEIRA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ÁREA DA 6ª REGIÃO DA POLÍCIA MILITAR DE
MINAS GERAIS: SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO E FISCALIZAÇÃO
AMBIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Fontes
Orientador

Prof. Dr. Ferdinando Filetto
Coorientador

**LAVRAS-MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Vieira, Leandro Carvalho.

Incêndios florestais na área da 6ª Região da Polícia Militar de
Minas Gerais: subsídio para o planejamento e fiscalização
ambiental / Leandro Carvalho Vieira. - 2024.

73 p. : il.

Orientador(a): Marco Aurélio Leite Fontes.

Coorientador(a): Ferdinando Filetto.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Ecologia do fogo. 2. Mapeamento espacial. 3. Boletins de
ocorrência policial. I. Fontes, Marco Aurélio Leite. II. Filetto,
Ferdinando. III. Título.

LEANDRO CARVALHO VIEIRA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ÁREA DA 6ª REGIÃO DA POLÍCIA MILITAR DE
MINAS GERAIS: SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO E FISCALIZAÇÃO
AMBIENTAL**

**FOREST FIRES IN THE AREA OF THE 6TH MILITARY POLICE REGION OF
MINAS GERAIS: SUBSIDY FOR ENVIRONMENTAL PLANNING AND
SUPERVISION**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Lavras, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 11 de dezembro de 2024.

Dr. Marco Aurélio Leite Fontes

Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa

Dr. Francis Albert Cotta Formiga, Maj. PM

UFLA

UFLA

Unimontes/PMMG

Prof. Dr. Marco Aurélio Leite Fontes
Orientador

Prof. Dr. Ferdinando Filetto
Coorientador

**LAVRAS-MG
2024**

À minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos, mesmo nas situações de dificuldades, de forma especial, dedico a minha amada esposa Adilaine, que sempre me apoiou em minhas decisões, principalmente a de voltar a estudar mesmo após vários anos avastado. À meus queridos filhos, Isaque e Emanuela, que tiveram momentos furtados em prol destes estudos. E a Deus pelo dom da vida e do conhecimento, pois sem Ele este trabalho não seria possível.

A Deus toda honra e toda Glória!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor dos Exércitos, criador e mantenedor da minha vida e dos meus conhecimentos, por estar sempre comigo nas grandes batalhas que enfrentei, inclusive contra mim mesmo.

A minha família, minha amada esposa e meus queridos filhos, pelo amor, paciência e apoio incondicional durante toda essa jornada.

Agradeço à Polícia Militar de Minas Gerais pela disponibilização das informações para análise e pelo apoio profissional essencial, sem o qual este estudo não teria sido viável. Agradeço de forma especial a todos os policiais militares que facilitaram e contribuíram com meus estudos: Major Francis Albert Cotta, Capitão Luiz Cláudio; Capitão Ederson, 2º Sargento Renan; e os militares do GpMamb de Campo Belo. Também ao 3º Sargento Fernando, auxiliar de estatística do 8º BPM, e em memória do amigo e grande protetor do meio ambiente, 3º Sargento Botelho, que sucumbiu nas águas do perigoso Rio Grande, lutando pela proteção ambiental e combatendo quadrilhas que praticam pesca predatória.

Ao professor Dr. Marco Aurélio Leite Fontes, pela orientação, transferência de conhecimento e contribuição para meu crescimento acadêmico.

Ao professor Dr. Ferdinando Filetto, docente da UFMS, grande amigo, que sempre me incentivou a não desistir dos meus sonhos e a concluir este mestrado.

Agradeço de forma especial à Profa. Dra. Ana Carolina Maioli, pelo apoio, parceria e acolhimento no laboratório de Dendrocronologia, mesmo não sendo minha área inicial de estudo. Também aos amigos e irmãos em Cristo: Thiago Martins Santos e Lucas Guimarães Pereira, pela amizade, companheirismo e auxílio na conclusão do trabalho.

À minha coorientada Isadora de Cássia, pela valiosa colaboração na condução deste trabalho, e à Isadora Cardoso, aluna de graduação em Engenharia Florestal, pela contribuição gráfica essencial para a realização deste estudo.

Ao amigo e cooperador Dr. Aloysio Moura, por sua contribuição inestimável para este estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFLA, que foi essencial para o desenvolvimento dos meus conhecimentos na área de Ecologia Florestal.

À Universidade Federal de Lavras, por proporcionar meu crescimento profissional, pessoal e científico, contribuindo significativamente para a concretização deste trabalho.

À sociedade mineira, que por meio dos fomentos da FAPEMIG e através da transferência de recursos do Programa de Capacitação de Recursos Humanos – PCRH, que financiou meus estudos, viabilizando os diversos custos inerentes à pesquisa acadêmica.

Obrigado!

*“E tomou, pois o Senhor Deus ao homem e o
colocou no Jardim do Éden para cultivar e guardar.”*

(Gênesis 2:15)

Bíblia Sagrada

RESUMO

O Brasil e o mundo têm enfrentado, nos últimos anos, inúmeros incêndios florestais e recentemente esses eventos registraram um crescimento alarmante, causando muitos prejuízos e destruição. Nesse contexto, vários estudos abordam a ecologia dos incêndios, em particular nos domínios amazônico e do Cerrado, utilizando principalmente imagens de satélites. O objetivo do trabalho foi determinar quais as fontes de ignição, a distribuição, e a recorrência dos incêndios florestais nos municípios sob responsabilidade da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, sediada em Lavras, abrangendo 44 municípios das mesorregiões do Sul, Centro-Oeste e Campo das Vertentes, totalizando 17.430,851 km², que compreende o ecótono entre o Cerrado e a Mata Atlântica do sul do estado de Minas Gerais. Para isso, o estudo utilizou a base de dados secundários do Sistema Integrado de Segurança Pública, do governo do estado de Minas Gerais, onde estão armazenados os Registros de Eventos de Defesa Social, referente às ocorrências de incêndios florestais registradas na área de estudo pela Polícia Militar de Minas Gerais. Este estudo levou em consideração a série temporal entre os anos de 2011 a 2022 e foram analisados 500 registros de incêndios, os quais foram georreferenciados. A partir destes registros foi possível extrair dados como as fontes de ignição dos incêndios florestais registrados nas ocorrências policiais, datas de ocorrência e localização dos incêndios dentro dos municípios e das fitofisionomias, entre outras. Foi observado que uma parte significativa dos incêndios florestais ocorrem às margens de rodovias e são por causas indefinidas. As ocorrências foram mais prevalentes nos meses de agosto, setembro e outubro. Foi observado que nos anos com secas mais duradouras e com temperaturas mais altas ocorreram mais incêndios florestais na área estudada, como pode se observar nos anos de 2011, 2014 e 2017. O estudo poderá subsidiar a Polícia Militar de Minas Gerais em possíveis direcionamentos do policiamento ambiental para as áreas de maior ocorrência e recorrência de incêndios, assim como em novos formatos de registro de eventos. A falta de perícia criminal foi observado como um fato relevante para o número de ocorrências com registros de causa indefinida, o que dificulta a identificação e punição do autor. No mesmo sentido, os dados apontam para a necessidade de educação ambiental da população que exibem essas condições encontradas e, junto aos produtores rurais, de implementação de medidas preventivas, como o manejo da vegetação e, principalmente, a construção de aceiros às margens de estradas e rodovias.

Palavras-chave: ecologia do fogo; mapeamento espacial; boletins de ocorrência policial.

ABSTRACT

In recent years, Brazil and the world have faced numerous forest fires, with a recent alarming increase in these events causing significant damage and destruction. In this context, several studies address fire ecology, particularly in the Amazon and Cerrado domains, primarily using satellite imagery. This study aimed to determine the ignition sources, distribution, and recurrence of forest fires in the municipalities under the jurisdiction of the 6th Military Police Region of Minas Gerais, headquartered in Lavras. This area covers 44 municipalities in the mesoregions of the South, Central-West, and Campo das Vertentes, encompassing a total of 17,430.851 km² in the ecotone between the Cerrado and Atlantic Forest in the southern part of the state of Minas Gerais. The study utilized secondary data from the Integrated Public Security System of the State Government of Minas Gerais, which stores Social Defense Event Records related to forest fire incidents reported in the study area by the Military Police of Minas Gerais. The research considered a time series from 2011 to 2022 and analyzed 500 fire incident reports, which were georeferenced. From these records, data such as ignition sources, dates of occurrence, and locations within municipalities and phyto physiognomies were extracted, among other information. These data were compared with satellite fire surveys for the same study period. The results revealed that a significant proportion of forest fires occur along highway edges and have undefined causes. The incidents were more prevalent in August, September, and October. It was observed that years with longer droughts and higher temperatures corresponded to a higher number of forest fires in the study area, notably in 2011, 2014, and 2017. This study has the potential to assist the Military Police of Minas Gerais in guiding environmental policing efforts toward areas with higher fire incidence and recurrence, as well as in developing new event reporting formats. The lack of criminal investigation was identified as a critical issue contributing to the high number of incidents with undefined causes, which complicates the identification and prosecution of offenders. Additionally, the findings highlight the need for environmental education targeting the population to address these conditions and the importance of preventive measures with rural producers, such as vegetation management and, most critically, the construction of firebreaks along roads and highways.

Keywords: fire ecology; spatial mapping; police occurrence reports.

INDICADORES DE IMPACTO

O presente estudo contribui significativamente para o avanço do conhecimento e aprimoramento de práticas relacionadas à prevenção e combate a incêndios florestais na área de responsabilidade da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, sediada em Lavras, abrangendo 44 municípios nas mesorregiões do Sul, Centro-Oeste e Campo das Vertentes, totalizando 17.430,851 km², que compreende o ecótono entre o Cerrado e a Mata Atlântica do sul do estado de Minas Gerais. Por meio da análise de dados georreferenciados e do cruzamento de informações sobre fontes de ignição, sazonalidade e localização dos incêndios, os resultados obtidos têm o potencial de subsidiar estratégias mais eficientes para o policiamento ambiental e a alocação de recursos nas áreas de maior vulnerabilidade. Além disso, o estudo destaca a necessidade de integração entre órgãos públicos, produtores rurais e sociedade civil na implementação de medidas preventivas, como o manejo da vegetação e a construção de aceiros, fortalecendo as ações de educação ambiental. A pesquisa aponta lacunas importantes, como a ausência de perícia criminal em ocorrências de causas indefinidas, promovendo reflexões sobre melhorias no registro e análise de eventos de incêndios florestais. Dessa forma, este trabalho não apenas contribui para a redução de impactos ambientais e socioeconômicos causados pelos incêndios, mas também auxilia na formulação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e segurança ambiental. Por meio de sua aplicabilidade prática e relevância científica, o estudo reforça o compromisso da Universidade Federal de Lavras com a geração de conhecimentos voltados à preservação ambiental e ao desenvolvimento regional sustentável. Além de apontar estratégias inovadoras de fiscalização ambiental para os órgãos responsáveis.

IMPACTS INDICATORS

The present study significantly contributes to advancing knowledge and improving practices related to the prevention and combat of forest fires in the jurisdiction of the 6th Military Police Region of Minas Gerais, headquartered in Lavras. This region encompasses 44 municipalities within the mesoregions of the South, Central-West, and Campo das Vertentes, covering a total area of 17,430.851 km², located in the ecotone between the Cerrado and the Atlantic Forest in the southern part of the state of Minas Gerais. Through the analysis of georeferenced data and the cross-referencing of information regarding ignition sources, seasonality, and fire locations, the results obtained have the potential to support more efficient strategies for environmental policing and resource allocation in areas of higher vulnerability. Additionally, the study highlights the need for integration among public agencies, rural producers, and civil society in implementing preventive measures, such as vegetation management and the construction of firebreaks, thereby strengthening environmental education initiatives. The research identifies significant gaps, such as the lack of forensic investigations in occurrences with undefined causes, promoting reflections on improvements in the recording and analysis of forest fire events. Thus, this work not only contributes to reducing the environmental and socioeconomic impacts caused by wildfires but also assists in formulating public policies aimed at sustainability and environmental safety. With its practical applicability and scientific relevance, the study reinforces the commitment of the Federal University of Lavras to generating knowledge focused on environmental preservation and sustainable regional responsibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Área de estudo e as fitofisionomias presentes na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	28
Figura 2 - Mapa da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, subdividido nas unidades policiais militares: 8º Batalhão, 24º Batalhão e 16ª Companhia Independente.	38
Figura 3 - Descrição da codificação da ocorrência de incêndio florestal, utilizado na restrição da pesquisa.	41
Figura 4 - Imagem da página de pesquisa do Registro de Evento de Defesa Social, plotada do site do Sistema Integrado de Segurança Pública.	43
Figura 5 - Correlações climáticas espaciais entre a quantidade de ocorrências de incêndios florestais e Potencial de evaporação (a), Temperatura Máxima (b) e Precipitação (c) dos meses de agosto a outubro do CRU TS v4.07 entre os anos de 2011 a 2022.	47
Figura 6 - Séries de dados de precipitação total anual da região de estudo (20,276°S a 22,276°S e 44,237° a 46,237°; linha azul) e número de ocorrência de incêndios florestais (linha laranja) normalizados, e correlação de Pearson. Note que o eixo y da precipitação está invertido.	48
Figura 7 - Focos de incêndios florestais coincidentes com rodovias e estradas da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	49
Figura 8 - Focos de incêndios florestais relacionados a uso e ocupação do solo da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	50
Figura 9 - Mapa de estimativa de densidade Kernel referente aos incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	52
Figura 10 - Mapa da distribuição espacial das ocorrências de incêndios florestais registrados pelos policiais militares da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	54
Figura 11 - Gráfico de distribuição das causas das ocorrências de incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	55
Figura 12 - Gráfico das causas dos incêndios florestais distribuídos entre os meses do ano na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	56
Figura 13 - Gráfico de ocorrências de incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais (2011-2022).	57

Figura 14 - Climatograma com os números de ocorrências de incêndios florestais mensais nos municípios selecionados (linha laranja), e Precipitação (linha azul) e Temperatura máxima (Linha Vermelha).	58
Figura 15 - Imagens de área de Preservação Ambiental nos bairros Jardim Europa e Vila Barbosa na cidade de Campo Belo/MG.	59
Figura 16 - Gráfico de causas dos incêndios florestais relacionados aos municípios pertencentes à 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.	59
Figura 17 - Biplot de Análise de Correspondência entre as causas dos incêndios florestais e os municípios da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.....	60

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Municípios pertencentes à área de estudo e suas respectivas unidades operacionais (Continua).....	41
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

BPM	Batalhão de Polícia Militar
BPMAMB	Batalhão de Polícia Militar Ambiental
CIA IND	Companhia Independente
DIAO	Diretriz Integrada de Ações e Operações
GPMAMB	Grupamento de Polícia Militar Ambiental
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IF	Incêndios florestais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
PENB	Parque Estadual Nova Baden
PESB	Parque Estadual Serra da Boa Esperança
PMMG	Polícia Militar de Minas Gerais
REDS	Registro de Evento de Defesa Social
RPM	Região da Polícia Militar de Minas Gerais
SISP	Sistema Integrado de Segurança Pública
ZQC	Zona Quente de Criminalidade

APRESENTAÇÃO PROFISSIONAL

Meu nome é Leandro Carvalho Vieira, Sargento da Polícia Militar de Minas Gerais, onde atuo há 18 anos na 6ª Região da PMMG, com ampla experiência em áreas operacionais e administrativas. Durante minha trajetória profissional, desenvolvi um forte interesse pela área ambiental, especialmente no enfrentamento à criminalidade ambiental e na busca por soluções que minimizem os impactos das atividades humanas sobre os recursos naturais.

Concluí o mestrado em Ecologia Florestal pela Universidade Federal de Lavras, com apoio financeiro do Programa de Capacitação de Recursos Humanos -PCRH da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG. Essa iniciativa contou ainda com autorização e coordenação da PMMG, por meio de seu Centro de Pesquisa e Pós-Graduação - CPP, destacando o compromisso da instituição com a qualificação de seus integrantes.

A dissertação, além de aprofundar o conhecimento sobre incêndios florestais na 6ª Região da PMMG, foi fundamentada em uma estreita colaboração com a UFLA. Nesse contexto, atuei como coorientador em trabalhos de conclusão de curso da graduação de Engenharia Florestal, lecionei parte da disciplina de Incêndios Florestais e participei ativamente de seminários e palestras acadêmicas. Essa parceria foi essencial para promover a troca de experiências entre o conhecimento técnico-operacional da PMMG e a base científica da universidade, resultando em soluções práticas e inovadoras para a proteção ambiental e o enfrentamento aos desafios da criminalidade ambiental.

Um dos aspectos mais relevantes dessa pesquisa é o compromisso de compartilhar os resultados com os órgãos de defesa social de Minas Gerais, com o objetivo de aprimorar a prestação de serviços à sociedade mineira. A disseminação desse conhecimento visa fortalecer estratégias de combate a incêndios florestais, promover uma gestão mais integrada e eficiente dos recursos ambientais e apoiar políticas públicas de conservação, segurança pública e sustentabilidade.

Motivado pelos resultados positivos dessa experiência acadêmica, planejo dar continuidade aos meus estudos em nível de doutorado na mesma área. Minha intenção é aprofundar a investigação sobre a dinâmica dos incêndios florestais, os fatores associados à criminalidade ambiental e as melhores práticas de manejo e prevenção. Acreditando na importância da interação entre ciência e prática, almejo contribuir de forma ainda mais significativa para a preservação ambiental, a segurança pública e o bem-estar da sociedade.

Minha trajetória reflete um compromisso sólido com a integração de prática, pesquisa e inovação, sempre buscando soluções que aliem eficiência, sustentabilidade, segurança pública e responsabilidade social.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	O ser humano e o uso do fogo	20
2.2	Incêndios florestais no mundo e no Brasil	21
2.4	Mudanças climáticas e os incêndios florestais	23
2.5	Domínios	25
2.5.1	Domínio Atlântico	25
2.5.2	Domínio Cerrado	26
2.5.3	Ecótono	27
2.6	Revisão sobre a legislação brasileira referente a incêndios florestais	28
2.7	Atuação dos órgãos de Defesa Social no enfrentamento às ocorrências de incêndios florestais	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Área de estudo	38
3.2	Coleta de dados	39
3.3	Análise de dados	44
3.3.1	Análise de conteúdo textual	44
3.3.2	Análise de Correspondência	45
3.3.3	Análise de Contingência	46
3.3.4	Análise de Correlação espacial	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5	CONCLUSÃO	62
6	SUGESTÕES A POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS	64
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A – Termo de anuência PMMG	73

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são eventos que causam impactos ambientais, sociais e econômicos significativos, representando um dos maiores desafios para a gestão ambiental em diversas regiões do mundo (Jolly *et al.*, 2015). A crescente frequência e intensidade desses eventos, muitas vezes impulsionada pelas mudanças climáticas, exige estratégias abrangentes de gestão, adaptação e prevenção (Wang *et al.*, 2024). Em nível global, os incêndios afetam especialmente regiões como os Estados Unidos, Portugal, Austrália e Índia, com padrões agravados durante períodos de seca extrema e fenômenos climáticos como o El Niño (Diniz *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2022).

O Brasil tem enfrentado décadas de incêndios florestais sem precedentes, seguindo a tendência mundial (INPE, 2020). Fenômenos climáticos e condições locais, como a redução da umidade atmosférica e secas prolongadas, aumentam a incidência de eventos extremos no país (Mansoor *et al.*, 2022). Estudos têm destacado a vulnerabilidade de biomas como a Amazônia e o Cerrado, nos quais a identificação precisa das causas e padrões de ocorrência em escala local ainda incipiente (Fonseca-Morello *et al.*, 2017).

Na área sob jurisdição da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, abrangendo 44 municípios nas mesorregiões do Sul, Centro-Oeste e Campo das Vertentes, totalizando 17.430,851 km², que compreende o ecótono entre o Cerrado e a Mata Atlântica do sul do estado de Minas Gerais, apresenta um histórico relevante de incêndios florestais (Rodrigues *et al.*, 2022). Embora o monitoramento por satélites e a detecção de focos de calor tenham avançado, persistem desafios na espacialização detalhada das ocorrências e na identificação das fontes de ignição, especialmente em escala local. Tais análises, são essenciais para subsidiar estratégias de prevenção, combate e fiscalização, além de promover a conscientização da sociedade sobre os riscos e impactos do fogo.

Desta maneira, este estudo buscou realizar um levantamento e analisar as ocorrências policiais de incêndios florestais registradas pela Polícia Militar de Minas Gerais, na área de responsabilidade territorial da 6ª RPM, entre 2011 a 2022 e identificar quais as fontes de ignição, a distribuição, e a recorrência dos incêndios florestais nos municípios sob responsabilidade da 6ª RPM.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O ser humano e o uso do fogo

O fogo foi descoberto pelo homem na era do paleolítico, aproximadamente 1,7 milhões de anos, período este compreendido entre o final da era da pedra e o período Acheuliano (Beaumont, 2011). Essa descoberta trouxe grandes mudanças para a vida do homem primitivo, influenciando significativamente suas interações sociais e alimentares (Chazan, 2017), marcando a divisão de eras e a evolução do homem, com a utilização do fogo. O homem é um animal dependente do fogo, cujo gênero abrange a época do Pleistoceno. Certamente, o *Homo erectus* e o *Homo sapiens* tinham fogo no final da última glaciação (Gowlett, 2016; Guttman, 1999). O *Homo sapiens* reconstruiu seu DNA cozinhando os alimentos, principalmente carne, e plantas diversas.

A domesticação do fogo, foi fundamental para a evolução da humanidade, o que permitiu o desenvolvimento de povos, culturas e técnicas de cultivo da terra. Essa domesticação possibilitou grandes mudanças, que são perceptíveis até os dias atuais. No período pré-histórico, o fogo garantiu a sobrevivência da espécie humana, aumentando seu espectro alimentar, permitindo estratégias para proteção contra outros grupos (tribos) e predadores (Badem, 2024).

Posteriormente, ocorreu a Revolução Industrial, outro grande divisor de água, quando a com utilização de caldeiras, aquecidas pelo fogo, foi possível a invenção de diversas máquinas industriais, bem como as locomotivas e outros veículos movidos a vapor (Ozawa; Asano, 2021).

O fogo nos dias atuais tem causado grandes prejuízos a população mundial. Os eventos de incêndios florestais, provocados por fontes antrópicas, principalmente aqueles realizados dolosamente tem destruído florestas, cidades, unidades de conservação e causado muitas mortes de pessoas e animais. Os mega incêndios florestais têm causado mudanças globais e já tem sido classificado por cientistas como um “Novo Piroceno”, pois a destruição do fogo pode provocar mudanças irreversíveis ao planeta (Nimmo *et al.*, 2022).

Os incêndios florestais, de fontes naturais, provocados por descargas atmosféricas ou autocombustão, não eram tão danosos assim, tendo em vista que esses ocorriam em períodos do início da temporada de chuvas, e logo após, vinha as chuvas que controlavam ou apagavam as chamas. Esse fogo natural era benéfico para os domínios fitofisionômicos dependentes do fogo, como por exemplo as savanas ao redor do mundo (Silva *et al.*, 2020).

2.2 Incêndios florestais no mundo e no Brasil

Os incêndios florestais há décadas têm provocado grande perda de ecossistemas em todo mundo, esses duplicaram em uma escala global nos últimos 20 anos, particularmente no hemisfério norte, onde tem causado grandes estragos. A grande incidência desses incêndios tem relação direta com as mudanças climáticas (Tyukavina *et al.*, 2022).

A situação é especialmente dramática em países europeus, asiáticos e em todo o continente americano. Esses incêndios florestais têm causado a perda de diversidade de plantas e animais, além de uma grande emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera do planeta, além dos prejuízos econômicos e em saúde pública, que atingem países de todos os continentes (Kala, 2023).

Os mega incêndios florestais, tem alterado a estrutura do planeta, pois tem potencializado o aquecimento do planeta, atrelado às baixas taxas de precipitação em algumas regiões do mundo, destruindo grandes áreas de vegetação nativa ou plantadas (Singh, 2022).

O aumento observado destes eventos vem sendo atribuído a variabilidade climática que tem sido um fator potencial para o agravamento dos incêndios florestais em escala global.

Os incêndios florestais tem uma dupla característica, sendo observado como maléfico em muitos dos casos, todavia tem uma vertente positiva, pois este evento de forma natural, é essencial para alguns domínios vegetacionais, tendo em vista que existem Biomas que dependem do fogo para sua preservação e reprodução (Pinheiro, 2010).

Diversos países que possuem os biomas savana, taiga e até alguns tipos de florestas estacionais, evoluíram com os incêndios, pois possuem uma estrutura e composição ecossistêmica característica dependente do fogo (Fidelis; Pivello, 2011).

O Brasil é um país de proporções continentais e composto por seis biomas, a saber: Floresta Atlântica, Cerrado, Caatinga, Floresta Amazônica, Pampas e Pantanal (Guerra *et al.*, 2020).

Desses biomas, pode-se citar que os florestais são sensíveis ao fogo, entretanto os biomas savânicos são dependentes, seja para quebra de dormência de sementes de certas plantas, e ou mesmo por um ciclo natural ainda pouco compreendidos (Rodrigues *et al.*, 2022).

Todavia esse fogo recorrente, muita das vezes não permite que espécies consigam concluir seu estágio de crescimento, amadurecimento e reprodução das plantas (Kala, 2023).

Têm-se observado em diversos estudos um aumento substancial dos incêndios nos últimos anos, principalmente no bioma Pantanal, comprometendo a regeneração de diversas espécies da fauna e da flora, adaptados a períodos alternados de cheia e seca, tornando este

bioma mais sensível ao fogo quando comparado ao bioma do Cerrado, que é mais resiliente (Menezes *et al.*, 2022).

Os incêndios descontrolados no Pantanal são especialmente prejudiciais, pois queimam de forma mais intensa e prolongada durante a estação seca, causando danos severos à biodiversidade e ao solo, além de comprometer o ciclo de cheias ao longo dos anos (Marques *et al.*, 2021).

Espécies que habitam o Pantanal, tanto vegetais quanto animais, podem sofrer grandes perdas devido à exposição a incêndios frequentes ou intensos, que não são naturais do bioma. Incêndios descontrolados também afetam a qualidade da água e os processos de decomposição, impactando todo o ecossistema. Eventos compostos de secas e ondas de calor contribuem significativamente para a temporada catastrófica de incêndios florestais no pantanal no ano de 2020, com uma queima de 55% da área do bioma (Libonati *et al.*, 2022).

Os incêndios florestais têm gerado impactos devastadores em diversas unidades de conservação no Brasil, ameaçando a biodiversidade e comprometendo os serviços ecossistêmicos essenciais. Entre essas áreas protegidas, destacam-se o Parque Nacional do Itatiaia, situado na região fronteira entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, e o Parque Nacional da Serra da Canastra, localizado em Minas Gerais, ambos próximos à área de estudo. Essas unidades de conservação são cruciais para a preservação da rica diversidade biológica brasileira, além de desempenharem papel vital na regulação climática e no fornecimento de recursos hídricos. No entanto, a ocorrência de incêndios florestais tem colocado em risco essas funções essenciais.

O Parque Nacional do Itatiaia, que abriga um dos ecossistemas mais antigos do Brasil, a Mata Atlântica, vem sofrendo com incêndios que destroem sua vegetação nativa e impactam diretamente espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Rodrigues *et al.* (2022) apontam que os incêndios nesta unidade têm causas multifatoriais, incluindo a combinação de práticas humanas inadequadas, como queimadas agropecuárias, e fatores climáticos agravados pelas mudanças climáticas, como períodos prolongados de estiagem e aumento das temperaturas.

Já o Parque Nacional da Serra da Canastra, conhecido por proteger as nascentes do rio São Francisco, enfrenta desafios semelhantes. Conforme observado por Carmo e Peralta (2016), os incêndios recorrentes na região não apenas prejudicam a biodiversidade local, mas também colocam em risco os recursos hídricos que abastecem milhares de comunidades ao longo do curso do rio. A vegetação de cerrado, predominante no parque, é particularmente vulnerável a incêndios devido à sua composição estrutural, mas desempenha um papel essencial no ciclo hidrológico e na prevenção da erosão.

O aumento da frequência e intensidade dos incêndios florestais está associado ao avanço de atividades humanas em torno dessas áreas protegidas. A expansão urbana, a agricultura e o turismo desordenado são fatores que agravam o risco de ignições (Silva *et al.*, 2018). Isso ressalta a necessidade urgente de políticas públicas efetivas, que integrem educação ambiental, fiscalização rigorosa e medidas de prevenção ao fogo, como a criação de aceiros e a capacitação de brigadas de incêndio em âmbito local.

Dessa forma, os impactos dos incêndios florestais nas unidades de conservação, como os Parques Nacionais do Itatiaia e da Serra da Canastra, reforçam a relevância de esforços conjuntos entre gestores públicos, pesquisadores e a sociedade para garantir a integridade desses espaços e a continuidade dos serviços ecossistêmicos que fornecem. Conforme destacado por Jesus *et al.* (2018), a preservação dessas áreas protegidas passa a ser uma estratégia não apenas para a biodiversidade, mas também auxilia na manutenção da qualidade de vida das populações humanas que dependem dos recursos naturais.

2.4 Mudanças climáticas e os incêndios florestais

O consumo excessivo de recursos naturais, a má gestão dos recursos hídricos, o uso predominante de transporte individualizado e a separação inadequada de resíduos, ou mesmo sua total ausência, são hábitos amplamente praticados pelos seres humanos em diversas regiões do mundo. No entanto, enquanto o comportamento humano individual tem um impacto considerável, o setor industrial também contribui significativamente para as mudanças ambientais que o planeta enfrenta (Singh, 2022). Entre os principais fatores estão a emissão de gases de efeito estufa, provocada tanto pelo desmatamento relacionado ao agronegócio quanto pelas práticas agropecuárias. Adicionalmente, a geração de energia, que ainda depende majoritariamente de combustíveis fósseis, é outra importante fonte de emissões prejudiciais (Johnsson; Kjærstad; Rootzén, 2019).

Embora mudanças ambientais tenham ocorrido ao longo da história do planeta Terra, impulsionadas por processos naturais como variações na radiação solar e mudanças nos movimentos orbitais, a influência antrópica sobre o clima é cada vez mais evidente¹.

O efeito estufa, um processo natural essencial para a manutenção da vida na Terra, envolve a presença de uma camada de gases na atmosfera, composta principalmente por dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e vapor d'água. Essa camada permite a

¹ De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), aproximadamente 90% das mudanças climáticas contemporâneas podem ser atribuídas a atividades humanas.

entrada de radiação solar, que aquece a superfície terrestre, mas retém parte da radiação refletida, garantindo um equilíbrio térmico que sustenta as condições necessárias para a vida. Contudo, conforme observado por Mikhaylov *et al.* (2020), as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa têm agravado o efeito estufa natural, intensificando o aquecimento global devido à retenção excessiva de calor na atmosfera.

As consequências desse aquecimento intensificado incluem o aumento das temperaturas médias globais, o derretimento de calotas polares e geleiras, a elevação do nível do mar, a intensificação de eventos climáticos extremos como tempestades e enchentes, além de impactos negativos sobre a biodiversidade, como a extinção de espécies e a diminuição da produtividade agrícola. Em particular, as mudanças climáticas têm agravado a ocorrência de incêndios florestais, criando um ciclo vicioso em que um fenômeno exacerba o outro.

Os incêndios florestais são altamente dependentes de condições climáticas como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação. Segundo Nunes, Soares e Batista (2006), as variações climáticas são fatores cruciais que influenciam tanto a incidência quanto a propagação do fogo. Condições climáticas extremas, como temperaturas mais altas e períodos de estiagem prolongados, deixam as florestas mais vulneráveis, aumentando o potencial de ignições. Além disso, fatores locais, como a composição do solo e a disponibilidade de combustível vegetal, amplificam a propagação dos incêndios (Nunes *et al.*, 2010).

A liberação de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) durante os incêndios florestais, por sua vez, agrava o efeito estufa, contribuindo ainda mais para as mudanças climáticas. Estudos, como o conduzido por Almazroui *et al.* (2021), indicam que a frequência de eventos como secas-relâmpago tem aumentado significativamente desde 1951, especialmente em regiões críticas identificadas pelo relatório “SREX”. As projeções sugerem que essas secas continuarão a se intensificar, particularmente em cenários de altas emissões de gases de efeito estufa.

Com base em diversos estudos, há uma clara tendência de crescimento dos incêndios extremos em regiões como a Califórnia, Portugal, Austrália, Ártico, e mesmo em ecossistemas tropicais, como o Pantanal, a Amazônia e a Mata Atlântica (Goss *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2022). No caso específico do Pantanal, as queimadas têm causado danos irreversíveis à fauna e flora local, com impacto direto sobre a biodiversidade e os recursos hídricos (Shimabukuro *et al.*, 2023).

O papel dos combustíveis vegetais também é significativo nos incêndios. Elementos como troncos, ramos mortos, folhas e biomassa seca, presentes em grande abundância nos biomas brasileiros, são propulsores naturais do fogo. Gomes *et al.* (2020) e Zanzarini, Andersen

e Fidelis (2022) apontam que materiais finos mortos são especialmente propensos a inflamar e facilitam a propagação rápida do fogo, representando um risco elevado para ecossistemas sensíveis.

Por fim, quando mudanças climáticas são combinadas com fontes de ignição e a presença de combustível disponível, os impactos podem ser devastadores, tanto para os ecossistemas quanto para as sociedades humanas. Esses eventos não apenas comprometem a fauna e flora, mas também afetam os ciclos hidrológicos, o solo e a sustentabilidade econômica global (Wilson; Yebra, 2023). Assim, abordar essa interconexão entre mudanças climáticas e incêndios florestais é uma prioridade global, exigindo ações conjuntas, baseadas em ciência e estratégias de gestão integradas, para mitigar esses riscos e proteger o futuro do planeta.

2.5 Domínios fitofisionômicos do Sul e Centro Oeste do estado de Minas Gerais

2.5.1 Domínio Atlântico

A Mata Atlântica é considerada um dos maiores pontos-chave para a conservação da biodiversidade (Mittermeier *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2000). E está distribuído ao longo da América do Sul, e ao longo de praticamente toda costa brasileira. Também ocorre no interior do Brasil e em outros países da América do Sul (Morellato; Haddad, 2000). O domínio Atlântico cobria mais de 150 milhões de hectares, ocorrendo em áreas com clima tropical e subtropical com extrema diversidade de condições, o que resultou em uma alta riqueza de espécies (Mittermeier *et al.*, 2004), e endemismos (Morellato; Haddad, 2000; Tabarelli *et al.*, 2005).

Grande parte, das florestas de Mata Atlântica ocorrem em elevações de 200 a 1200 m em relação ao nível do mar, e entre 400 e 800 m (Tabarelli *et al.*, 2010), porém, segundo Ribeiro *et al.* (2011) atualmente grande parte dessa cobertura florestal está localizada em áreas com altitudes mais elevadas que 1200 m.

A Mata atlântica, assim também conhecida, forma a segunda maior área de floresta tropical úmida da América do Sul, sendo menor apenas que a área de florestas Amazônica (Morellato; Haddad, 2000), todavia, sua área florestal está reduzida a aproximadamente uma pequena área, onde estão incluídas florestas degradadas em diferentes estágios de sucessão (Ribeiro *et al.*, 2009). Mesmo contendo uma alta biodiversidade o domínio atlântico, vem sofrendo muitos processos de degradação e fragmentação desde a época da colonização do Brasil (Morellato; Haddad, 2000).

Tendo em vista a alta biodiversidade e endemismo de plantas e animais que a floresta Atlântica possui (Mittermeier *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2000), ela deve ser ter observação especial do mundo todo para ações de conservação. É necessário mais estudos, principalmente referente a ecologia do fogo, por se tratar de um domínio sensível aos incêndios florestais.

2.5.2 Domínio Cerrado

O domínio Cerrado é considerado como um bioma muito importante, devido ao seu grande número de elementos endêmicos e raros de plantas e animais, além de abrigar uma grande diversidade de espécies (Mittermeier *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2000), e deve ser visto de forma especial quando se fala em conservação e preservação ambiental.

O Cerrado é um domínio antigo, e já no início do povoamento mundial havia uma formação de um pré-cerrado. Logo após esse período, ocorreu o surgimento do Planalto Central, e uma alteração gradativa de clima, que anteriormente era mais seco, para um período mais úmido, favorecendo assim a diversificação da fauna e da flora.

A grande heterogeneidade espacial do Cerrado, onde diversas fitofisionomias alternam-se na paisagem, está bastante ligada à variação dos solos e de suas características (composição química, profundidade, tipo de drenagem) (Lopes; Cox, 1977). Fatores ligados à geomorfologia e evolução do relevo determinam fortemente os tipos de solos e terrenos do Cerrado, favorecendo a diversidade de paisagens e ambientes. De modo geral, este domínio pode ser definido como um dos planaltos antigos, com topografia suave ou ondulada, em geral acima dos 500 m, com depressões em suas periferias, lentamente erodidas pelas principais drenagens do Brasil.

A existência de três grandes centros de biodiversidade: cerrados do Planalto Central, cerrados do Sudeste Meridional, e cerrados do Nordeste (Castro, 1994). A discriminação desses centros ocorreria devido a, principalmente duas, barreiras climáticas: o polígono das secas e das geadas e as cotas altimétricas de 400 m - 500 m e 900 m - 1.000 m de altitude média. Ou seja, o padrão da distribuição das espécies vegetais é determinado por variações na altitude e latitude. Estes grandes centros de biodiversidade do cerrados são oito grupos distintos, sendo dois em São Paulo e sul de Minas Gerais (cerrados do Sudeste Meridional), três grupos de cerrados do Planalto Central (cerrados do Brasil Central), um grupo do Nordeste (cerrados do Piauí e Maranhão), um grupo do Pantanal (Cerrados do Brasil Central localizados na região do Pantanal) e por fim um grupo de cerrados do Litoral.

2.5.3 Ecótono

A expressão ‘ecótono’ foi utilizada pela primeira vez em trabalho da vegetação por Kolasa e Zalewski (1995) para denominar uma área de conflito entre dois ecossistemas diferentes, o que é confirmado pela etimologia da palavra, sendo de origem grega, onde tono expressa tensão, anexado ao prefixo eco, indicando zona de tensão.

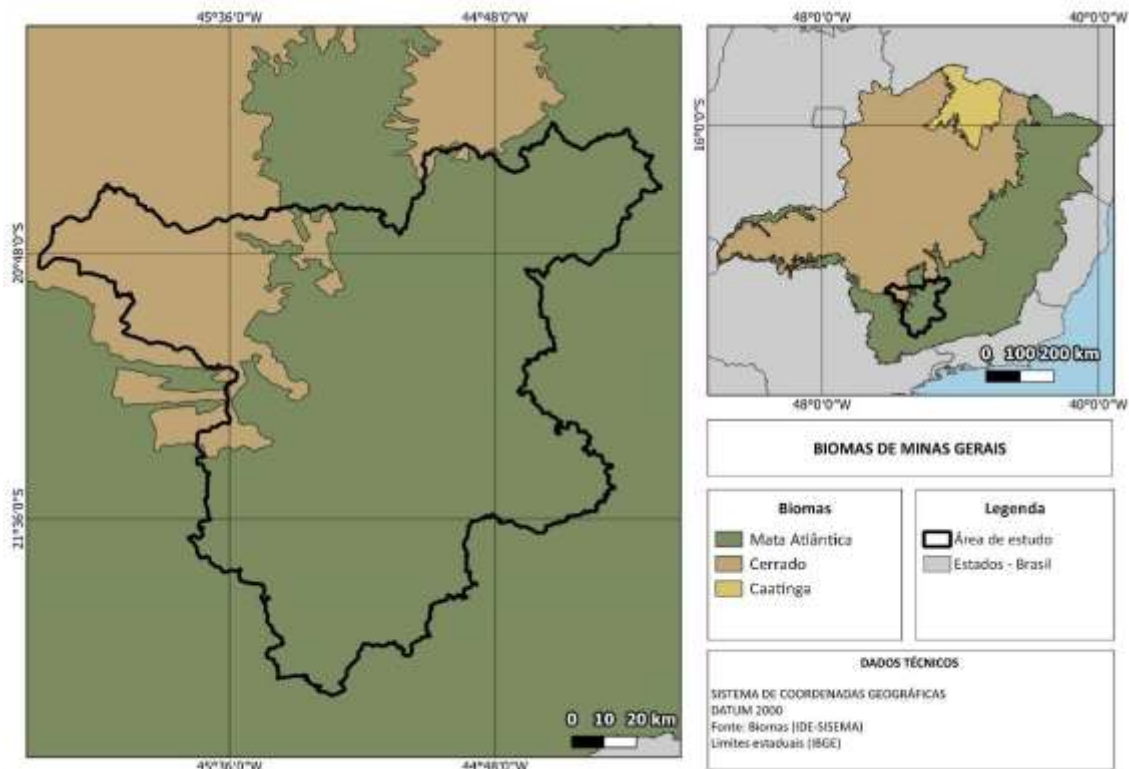
Kent *et al.* (1997), mencionam que a transferência entre dois ecossistemas acarreta a realidade de uma região com relevâncias intermediárias para os padrões que definem a estrutura desse conjunto de organismos. Essa condição de transição manifesta-se como resposta de plantas e animais às mudanças temporais ou espaciais de habitat, ou por consequência de algum agente que modifique o padrão espacial do conjunto (Kent *et al.*, 1997). Ainda declara que, desde a década de 1980 (Kent *et al.*, 1997), o termo ecótono foi empregado em significação geográfica mais ampla, frequentemente para contextualizar sistemas de mudanças entre duas paisagens ou comunidades (Ward *et al.*, 1999).

Segundo os autores Kark e Van Rensburg (2006), são considerados ecótonos as áreas de transição, regiões fronteiriças e borda de sistemas onde as comunidades ecológicas (vegetais e ou zoológicas) compartilham os elementos que as compõem o mesmo domínio.

Alguns estudos fisionômicos sugerem que as principais fitofisionomias em MG, incluem elementos da Mata Atlântica e do Cerrado, como por exemplo: campos rupestres, campos de altitude, florestas ciliares, cerrado *stricto sensu*, florestas monodominantes por plantas do gênero *Eremanthus* (candeias) (Moura *et al.*, 2021) florestas estacionais semidecíduais (montanas, alto montanas e ombrófilas) (Moura *et al.*, 2021; Oliveira Filho *et al.*, 2004).

A área de estudo é um “hotspot” clássico de um ecótono como se pode observar na Figura 1. Um grande parte da área está localizada em domínio atlântico, mas também uma porção importante em fitofisionomia de cerrado, todavia devido a resolução da imagem não é possível observar manchas das fitofisionomias citadas entre os domínios citados.

Figura 1 - Mapa da Área de estudo e as fitofisionomias presentes na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2024).

De acordo com a classificação climática de W. Köppen, a região possui um clima Cwa, ou seja, um clima mesotérmico com verões quentes e estação chuvosa com precipitação média anual de 1.529,7 mm, concentrada entre setembro e março e temperatura média anual de 19,4°C. Nas regiões de grande elevação, como topos de montanha, o clima é Cwb (Alvares *et al.*, 2013), assim, a vegetação possui uma classificação climática ecotonal. Estas variações climáticas e a complexidade do ecótono Cerrado-Mata Atlântica contribuem para a diversidade ecológica e para a distribuição das fitofisionomias observadas, as quais foram consideradas nas análises dos dados ambientais coletados (Alvares *et al.*, 2013).

2.6 Revisão sobre a legislação brasileira referente a incêndios florestais

A legislação ambiental brasileira desempenha um papel fundamental na gestão e prevenção de incêndios florestais, especialmente em ecossistemas críticos como a Amazônia. No entanto, a eficácia dessas políticas enfrenta barreiras significativas decorrentes de mudanças recentes na legislação, dificuldades na implementação de estratégias preventivas e desafios relacionados às realidades socioeconômicas de comunidades locais.

A Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998) é um dos principais marcos legais do Brasil no que se refere à proteção ambiental, estabelecendo penalidades para aqueles que cometem infrações contra a fauna, a flora, os recursos naturais, o patrimônio cultural e o meio ambiente de modo geral.

A Lei nº 9.605, sancionada em 12 de fevereiro de 1998, possui uma série de dispositivos que visam proteger o meio ambiente e responsabilizar aqueles que causam danos a ele, seja de forma dolosa ou culposa. Essa lei abrange uma vasta gama de condutas danosas ao meio ambiente, classificando-as em diversas categorias, incluindo crimes contra a fauna, a flora e o patrimônio ambiental, que incluem desde o desmatamento ilegal até a poluição. Esta Lei categoriza várias infrações, que vão desde as mais graves até aquelas de menor dano, mas que ainda assim afetam o equilíbrio ecológico. Alguns exemplos incluem:

1. Crimes contra a fauna: incluem a caça, pesca e tráfico de espécies protegidas, bem como o sofrimento e a morte de animais silvestres em condições inadequadas.
2. Crimes contra a flora: envolvem o desmatamento ilegal de áreas de proteção, a supressão de vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APPs) e em Unidades de Conservação, além dos incêndios florestais e as queimadas.
3. Crimes de poluição: atos que causam a poluição do ar, da água ou do solo, gerando prejuízos para a saúde humana e para o meio ambiente.
4. Outros crimes ambientais: como o armazenamento inadequado de resíduos tóxicos e perigosos e a infração a normas que regulamentam o uso e o gerenciamento sustentável de recursos naturais.

A Lei de Crimes Ambientais prevê uma combinação de penas alternativas, como multa e prestação de serviços à comunidade, penas privativas de liberdade, que podem variar de acordo com a gravidade da infração, e a reparação do dano causado. Além disso, ela permite a responsabilidade objetiva das pessoas jurídicas, isto é, a empresa pode ser responsabilizada independentemente da comprovação de dolo ou culpa, se o dano ambiental ocorrer dentro de suas atividades.

As punições variam conforme a gravidade do delito e sua repercussão ambiental. As penalidades podem incluir:

- Multas, que podem ser ajustadas conforme a gravidade e a condição financeira do infrator;
- Interdição de atividades;
- Compensação dos danos ambientais causados;

- Suspensão de permissões ambientais;
- Apreensão de materiais ilícitos (exemplo: pesca ilegal ou espécies de fauna apreendidas).

O artigo 41 da Lei nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, estabelece as penalidades para quem provoca incêndios florestais no Brasil. Este dispositivo legal é crucial para a proteção dos recursos naturais e dos ecossistemas, visto que os incêndios florestais representam uma ameaça direta à fauna, à flora e ao equilíbrio ambiental.

O citado artigo trata do crime de provocar incêndio em vegetação natural, especificando que a pessoa que causar incêndios em qualquer forma de vegetação nativa pode ser punida com reclusão, com pena variando de 3 a 6 anos de prisão, além de multa.

Além disso, o parágrafo único do artigo destaca que as penas podem ser aumentadas em caso de agravantes, como quando o incêndio atinge áreas de preservação permanente, como parques nacionais, estações ecológicas ou outras áreas protegidas por lei. A gravidade do crime e os danos ambientais potenciais justificam a severidade da punição, uma vez que esses incêndios podem provocar perdas irreversíveis de biodiversidade, afetar o clima local e global, e comprometer recursos hídricos.

O artigo 41 visa detectar e punir as pessoas ou empresas responsáveis por causar incêndios florestais, destacando a responsabilidade legal de quem provoca tais desastres. Além disso, busca dissuadir a prática criminosa ao estabelecer uma penalidade severa, refletindo a gravidade dos danos ambientais causados.

O artigo 41 da Lei de Crimes Ambientais é uma medida fundamental no arcabouço jurídico brasileiro para combater os incêndios florestais e as consequências ambientais danosas resultantes dessas ações. Sua aplicação tem grande importância na promoção da responsabilidade ambiental, ao garantir punições severas para os infratores, assim como promover uma cultura de respeito e proteção ao meio ambiente no país.

A Lei 9.605/1998 é crucial para garantir o cumprimento das normas ambientais e para responsabilizar aqueles que prejudicam o meio ambiente. Ela representa um avanço significativo em relação ao fortalecimento da governança ambiental, permitindo que as ações do Estado, as empresas e a sociedade civil sejam mais eficazes na prevenção de danos ambientais e na aplicação de medidas corretivas.

Apesar de ser um avanço importante, a Lei de Crimes Ambientais enfrenta desafios significativos em sua implementação. Entre os principais obstáculos estão a falta de fiscalização eficaz, a impunidade em muitos casos devido à morosidade no processo judicial, e a dificuldade

em monitorar atividades ilegais em áreas remotas, como a Amazônia. Além disso, o apoio e engajamento das autoridades locais, a deficiência na conscientização ambiental e as pressões econômicas para o uso ilegal dos recursos naturais também dificultam a aplicação plena da lei.

Por fim, a Lei de Crimes Ambientais se mostrou um instrumento fundamental na proteção dos recursos naturais e na manutenção do equilíbrio ecológico do Brasil. A evolução das políticas ambientais, a ampliação do controle social sobre os recursos e o fortalecimento da transparência nas práticas de fiscalização são caminhos que podem ampliar a eficácia dessa legislação e reduzir os danos ambientais. Essa legislação também está em constante adaptação e complemento, com novas normas sendo criadas para enfrentar desafios ambientais contemporâneos, como a crise climática.

A ABNT NBR 17190:2024 (ABNT, 2024) é uma norma técnica recente que estabelece diretrizes detalhadas para a elaboração dos Planos de Proteção Contra Incêndios Florestais - PPCIF no Brasil. O objetivo principal desta norma é fornecer um referencial técnico consistente e padronizado para a criação de planos eficazes de prevenção e controle de incêndios florestais em todo o território nacional. Com a crescente incidência de incêndios florestais, que impactam não apenas os ecossistemas, mas também a economia e a saúde pública, a norma visa melhorar a gestão do fogo, garantindo maior eficiência nas ações de prevenção, monitoramento e controle.

Essa norma, especifica os requisitos mínimos para a formulação do PPCIF, abrangendo desde a avaliação de riscos, até a execução de estratégias operacionais para o combate e a mitigação de incêndios florestais. Para isso, a norma propõe um modelo integrado de planejamento, que considera tanto as características do ambiente florestal quanto as necessidades da comunidade local e dos profissionais envolvidos nas ações de combate ao fogo.

A norma orienta sobre como identificar áreas mais suscetíveis a incêndios, levando em consideração fatores como o tipo de vegetação, a topografia, a disponibilidade de recursos e as condições climáticas.

A NBR 17190 detalha medidas preventivas essenciais, como o controle da vegetação combustível, o manejo do fogo em áreas de risco e a realização de treinamentos específicos para as equipes de combate. A norma ainda prevê procedimentos para o combate ao incêndio, com foco na eficiência operacional, definição de responsabilidades e a coordenação entre diferentes órgãos e instituições.

Essa destaca a importância da formação e qualificação dos profissionais envolvidos nas ações de controle de incêndios, tanto de órgãos públicos quanto das comunidades locais. Além de incentivar a cooperação entre os diferentes níveis de governo, bem como o envolvimento de

empresas privadas, comunidades e organizações não governamentais (ONGs), garantindo uma gestão coletiva e eficiente do risco.

A introdução da NBR 17190:2024² (ABNT, 2024) é um avanço significativo na gestão do risco de incêndios florestais no Brasil, já que estabelece um padrão único e acessível para a implementação de ações de proteção. Ela não só fortalece a governança sobre o manejo do fogo, como também assegura uma abordagem baseada em evidências e práticas sustentáveis.

Além disso, o seu cumprimento proporciona uma coordenação eficaz entre as diversas entidades responsáveis pela preservação ambiental, ao estabelecer papéis e responsabilidades claros. O comprometimento com o meio ambiente é, portanto, ampliado, e um melhor planejamento para a proteção de áreas de grande biodiversidade, como a Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, se torna uma prioridade na agenda nacional.

A NBR 17190:2024 (ABNT, 2024) é uma ferramenta essencial para enfrentar o crescente desafio dos incêndios florestais no Brasil, proporcionando um planejamento estratégico, sistemático e coordenado. Ela orienta as melhores práticas no enfrentamento dessa questão ambiental e garante que as ações de controle do fogo sejam implementadas de maneira eficiente e eficaz, garantindo a preservação dos ecossistemas naturais e a sustentabilidade ambiental a longo prazo.

Nos últimos anos, diversas modificações na legislação ambiental brasileira tiveram impactos profundos tanto no desmatamento quanto na ocorrência de incêndios florestais. A revisão do Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) exemplifica essas mudanças.

O Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) é uma legislação fundamental para a proteção e conservação dos recursos naturais no Brasil, com foco específico na gestão das florestas, nas áreas de preservação permanente (APPs) e na recuperação de áreas degradadas. Esta lei atualiza e substitui o Código Florestal anterior (de 1965), e tem como objetivo conciliar o desenvolvimento agropecuário com a preservação ambiental.

O principal objetivo do Código Florestal Brasileiro é garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e a manutenção dos serviços ambientais que as florestas e outras vegetações nativas prestam, como a regulação do clima, a proteção dos recursos hídricos, a promoção da biodiversidade e o sequestro de carbono. A legislação também busca proporcionar aos proprietários rurais segurança jurídica no cumprimento das normas ambientais, por meio de requisitos claros e práticas que favoreçam o manejo sustentável.

² A NBR 17190 é uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que estabelece requisitos para a elaboração de Planos de Proteção Contra Incêndios Florestais (PPCIF).

O Código Florestal tem causado polêmica, especialmente pela flexibilização de algumas regras que, em algumas interpretações, podem favorecer o agronegócio em detrimento da preservação ambiental. A revisão do Código visou facilitar a regularização fundiária de propriedades em áreas mais críticas, mas também gerou preocupações sobre a preservação efetiva das florestas e das áreas de vegetação nativa.

Por outro lado, o Código trouxe avanços no que diz respeito ao incentivo à recuperação de áreas degradadas, ao fortalecimento da vigilância ambiental e à integração entre agricultura e conservação.

Um marco importante no campo da legislação ambiental, pois estabelece um modelo de manejo florestal sustentável que busca equilibrar as necessidades do desenvolvimento econômico com a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas vitais para a saúde do planeta. No entanto, a implementação adequada de suas diretrizes dependerá de um trabalho conjunto entre os diversos setores da sociedade, como governo, empresas, organizações ambientais e os próprios proprietários rurais.

Por um lado, a flexibilização de critérios para a regularização fundiária e de desmatamentos gerou preocupações com o aumento da degradação florestal. Por outro, o Código também introduziu mecanismos inovadores, como a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e incentivos para a recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), os quais podem contribuir para a conservação florestal em longo prazo (Freitas *et al.*, 2018).

Os incêndios florestais no Brasil resultam de uma interação complexa entre fatores biofísicos, como estiagens prolongadas e fragmentação florestal, e fatores socioculturais, incluindo a expansão agrícola, desmatamento e práticas tradicionais de agricultura de corte e queima. Em áreas rurais, muitos pequenos agricultores utilizam o fogo como ferramenta para manejo agrícola, mas a criminalização dessas práticas muitas vezes deslegitima seus modos de vida sem oferecer alternativas sustentáveis (Carmenta; Coudel; Steward, 2019). Isso reflete a necessidade urgente de políticas públicas mais inclusivas e adaptadas às realidades locais, que conciliam a proteção ambiental com o bem-estar socioeconômico.

Outro grande desafio é a alocação inadequada de recursos para políticas públicas. Atualmente, a maior parte do orçamento destina-se à supressão de incêndios, relegando as iniciativas de prevenção e educação ambiental a um segundo plano. Além disso, a capacidade limitada de estados e municípios para formular políticas de manejo de fogo dificulta uma gestão mais eficiente. A ausência de suporte em áreas como crédito agrícola, assistência técnica e acesso a mercados também impede a adoção de práticas agrícolas sem uso do fogo (Fonseca-Morello *et al.*, 2017).

Adicionalmente, o desmatamento contínuo e a consequente fragmentação florestal agravam a vulnerabilidade das florestas. Estudos indicam que áreas desmatadas ou fragmentadas apresentam maior propensão à incidência e intensidade de incêndios florestais devido à maior exposição ao calor e à baixa umidade (Maillard *et al.*, 2020). Assim, combater o desmatamento é uma estratégia crucial para reduzir incêndios e preservar os serviços ecossistêmicos essenciais fornecidos pelas florestas brasileiras.

Em Minas Gerais, onde coexistem os biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, o Instituto Estadual de Florestas (IEF) lidera esforços de prevenção e combate a incêndios florestais por meio do Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais (Previncêndio). Essa iniciativa articula ações de fiscalização, educação ambiental e manejo integrado do fogo, promovendo uma abordagem preventiva em áreas vulneráveis (Oliveira; Assis, 2020).

Outro avanço legislativo significativo foi a criação da Lei 14.944, de 31 de julho de 2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (MIF). Essa política estabelece diretrizes para o manejo sustentável do fogo, promovendo a inclusão das comunidades locais nos processos de planejamento e implementação. Com isso, busca-se integrar práticas tradicionais de uso do fogo ao manejo florestal moderno, reduzindo os riscos de incêndios descontrolados enquanto se preservam os saberes locais.

A Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (MIF), representa um marco na gestão e prevenção de incêndios florestais no Brasil. A política tem como objetivo central implementar e consolidar práticas sustentáveis de manejo do fogo em diversas regiões do país, buscando reduzir os impactos ambientais e sociais provocados pelos incêndios descontrolados, ao mesmo tempo que possibilita a integração das comunidades locais nos processos de gestão florestal.

A Lei 14.944 reconhece o fogo como uma ferramenta natural e tradicional usada em vários ecossistemas, especialmente no Brasil, onde diversas comunidades, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, aplicam o fogo de forma controlada na agricultura e na prática do manejo sustentável de paisagens naturais. A lei é uma resposta ao crescente número de incêndios descontrolados e à constante degradação de biomas como a Amazônia, o Cerrado e a Caatinga, com implicações não só para o meio ambiente, mas também para as populações locais.

A principal finalidade da política instituída pela Lei 14.944 é promover a sustentabilidade ao utilizar práticas de fogo de maneira controlada e monitorada. A regulamentação prevê uma série de medidas e diretrizes para prevenção de incêndios descontrolados, manejo do fogo controlado e capacitação de agentes e comunidades locais.

Apesar dos avanços promovidos pela Lei 14.944, a implementação do MIF não é isenta de desafios. Em várias regiões do país, especialmente no interior da Amazônia e outras zonas de alta vulnerabilidade, ainda existem dificuldades estruturais, como a falta de infraestrutura de monitoramento e assessoramento contínuo às comunidades, além da necessidade de apoio mais robusto para a transição para métodos alternativos de manejo sustentável do fogo. A colaboração interinstitucional, entre os governos federal, estaduais e municipais, será fundamental para o sucesso desta política.

Outro desafio é a integração entre as políticas de manejo integrado do fogo e as leis ambientais existentes, como o Código Florestal e a Lei de Crimes Ambientais, que em muitos casos podem entrar em conflito com as permissões de uso do fogo em determinadas áreas, principalmente em relação a áreas de proteção ambiental e as unidades de conservação. Dessa forma, a harmonização dessas normas é crucial para que os resultados desejados pela Lei 14.944 sejam efetivos.

Em termos de longo prazo, a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo representa uma oportunidade para integrar os modelos de uso sustentável da terra e as práticas ancestrais com as demandas contemporâneas por conservação ambiental. Isso se torna ainda mais relevante em face das pressões climáticas, como o aumento de secas e o fortalecimento da ocorrência de incêndios florestais em toda a região amazônica. A Lei 14.944 é um passo significativo na regulamentação do uso do fogo e no fortalecimento da gestão ambiental no Brasil, oferecendo um caminho equilibrado entre os interesses sociais e ecológicos. Sua implementação eficaz exigirá um esforço conjunto entre comunidades, órgãos de governo e cientistas, bem como monitoramento constante da eficácia das práticas estabelecidas.

Além disso, medidas voltadas para o fortalecimento das cadeias produtivas florestais e agroflorestais apresentam um grande potencial para conciliar desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Investimentos na valorização de produtos não madeireiros, como frutos, óleos e sementes, podem gerar renda para comunidades locais, reduzindo sua dependência de práticas agrícolas destrutivas. Essas iniciativas contribuem não apenas para a proteção das florestas, mas também para a mitigação de emissões de carbono, promovendo um desenvolvimento sustentável e inclusivo na Amazônia.

Embora a legislação ambiental brasileira represente um alicerce importante na gestão e prevenção de incêndios florestais, a eficácia dessas políticas depende de sua implementação integrada e de sua adaptação às diversas realidades socioambientais do país. Para superar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental, é essencial adotar abordagens sistêmicas, que combinem conservação, justiça social e desenvolvimento

econômico. Nesse contexto, parcerias entre governos, sociedade civil, academia e comunidades locais serão fundamentais para garantir um futuro sustentável para as florestas brasileiras e as populações que delas dependem.

2.7 Atuação dos órgãos de Defesa Social no enfrentamento às ocorrências de incêndios florestais

As ocorrências de incêndios florestais são um desafio crescente para a segurança pública e a preservação ambiental, sendo crucial a atuação integrada de diversos órgãos de defesa social. A Polícia Militar, o Corpo de Bombeiros, a Polícia Civil através da Perícia Criminal, e o Ministério Público desempenham papéis essenciais no enfrentamento dessa problemática. Cada uma dessas instituições têm funções e atribuições específicas, que, quando somadas, contribuem para a resposta eficiente a esse tipo de evento. Contudo, todos esses órgãos enfrentam dificuldades devido à falta de efetivo, o que impacta diretamente a capacidade de resposta e a eficácia das ações no combate aos incêndios florestais.

A Polícia Militar, através dos batalhões de Polícia do Meio Ambiente, tem um papel fundamental na atuação preventiva e repressiva, especialmente na gestão de crimes ambientais. A PMMG é responsável por identificar e abordar atividades ilegais que afetam o meio ambiente, com destaque para o combate aos incêndios florestais, a caça e a exploração ilegal de recursos naturais. No contexto dos incêndios florestais, a PMMG realiza patrulhamentos para identificar riscos, fiscaliza áreas vulneráveis e dá apoio logístico aos combatentes do Corpo de Bombeiros. Além disso, quando se trata de incêndios criminosos, a PMMG colabora com a Polícia Civil, fornecendo apoio nas investigações. No entanto, a falta de efetivo em várias regiões compromete a vigilância constante e dificulta o trabalho de apoio imediato nas áreas de risco, comprometendo o alcance das ações de prevenção.

O Corpo de Bombeiros é o principal responsável pelo combate direto aos incêndios florestais. Utilizando técnicas especializadas e equipamentos adequados, os bombeiros trabalham incansavelmente para controlar e extinguir os focos de incêndio, atuando em locais de difícil acesso, caso necessário. Além do combate, o Corpo de Bombeiros também tem a função de realizar o rescaldo e a prevenção, evitando que incêndios se alastrem para áreas vulneráveis. Eles ainda podem trabalhar na elaboração de planos de resposta a emergências, colaborando com a Polícia Militar e outras entidades de defesa social para proteger a sociedade. Porém, com a limitação de recursos humanos, o tempo de resposta se torna mais lento e as

operações, muitas vezes, precisam ser ajustadas em função da disponibilidade de efetivo, o que coloca em risco a eficácia das operações.

A Polícia Civil, através da Perícia Criminal, atua na investigação das causas dos incêndios, especialmente quando há indícios de que sejam criminosos. A Perícia Criminal tem a missão de analisar e identificar os vestígios deixados nos locais atingidos pelos incêndios, como os pontos de origem e o tipo de combustão, para que seja possível coletar provas que indiquem a responsabilidade, podendo resultar em punições para os infratores. Esta análise pericial é fundamental para classificar o incêndio como acidente ou crime. No entanto, a carência de efetivo na Polícia Civil, especialmente na área pericial, prejudica a capacidade de realizar investigações completas e céleres, dificultando a identificação e punição dos responsáveis pelos incêndios criminosos.

Por último, o Ministério Público exerce a função de fiscalizar e garantir que as políticas públicas de segurança e proteção ambiental sejam cumpridas. Quando há evidências de infrações, como incêndios criminosos, o MPMG pode tomar medidas jurídicas para responsabilizar os infratores, assegurando que a legislação ambiental seja efetivamente aplicada. O Ministério Público também trabalha de forma preventiva, sugerindo políticas que minimizem os impactos dos incêndios florestais e propondo medidas de prevenção em áreas de risco. No entanto, o número reduzido de coordenadorias do Meio Ambiente no Ministério Público, pode limitar a eficácia das ações de fiscalização e controle, especialmente em momentos de grande demanda de atuação.

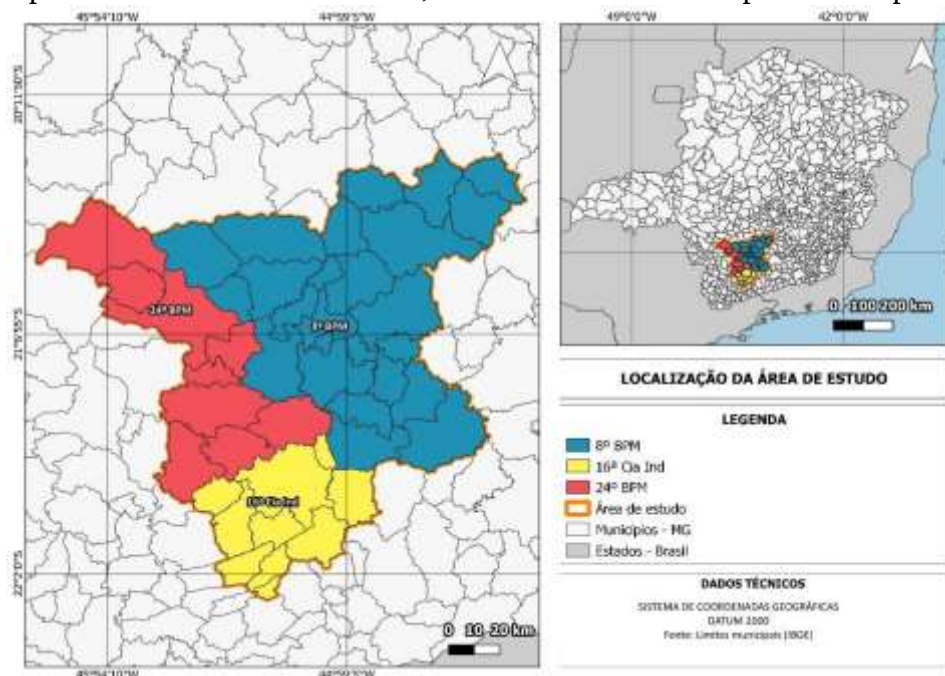
A interação entre todos esses órgãos, cada um cumprindo sua função de maneira especializada, é essencial para a obtenção de respostas rápidas e eficazes. Contudo, a falta de efetivo e de recursos compromete a capacidade de atuação plena desses órgãos. A atuação conjunta dos órgãos de defesa social na prevenção, combate e investigação dos incêndios florestais, embora necessária e eficaz em diversos contextos, exige, ainda, um maior fortalecimento em termos de recursos humanos e materiais para garantir a proteção efetiva da sociedade e do meio ambiente. A falta de efetivo é um fator que deve ser enfrentado para melhorar o alcance das estratégias de mitigação e prevenção, visando uma maior segurança para a população mineira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais (Figura 2), sediada em Lavras, abrangendo 44 municípios nas mesorregiões do Sul, Centro-Oeste e Campo das Vertentes, totalizando 17.430,851 km² e uma população de 873.959 habitantes (IBGE, 2022). A área é subdividida em três unidades operacionais da Polícia Militar de Minas Gerais, que facilitam a organização e administração do policiamento. As unidades citadas são as seguintes: 8º Batalhão sediado em Lavras, cobrindo 25 cidades; 24º Batalhão com sede em Varginha, abrangendo 9 cidades; e a 16ª Companhia Independente, responsável por 10 cidades da área de estudo. O policiamento ambiental é realizado na 6ª RPM pela 5ª Companhia de Policiamento de Meio Ambiente, subordinada ao Batalhão de Policiamento Ambiental em Belo Horizonte (BpMamb), sendo esta unidade, responsável pela maioria das ocorrências dos registros utilizados no estudo.

Figura 2 - Mapa da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, subdividido nas unidades policiais militares: 8º Batalhão, 24º Batalhão e 16ª Companhia Independente.



Fonte: Do autor (2024).

3.2 Coleta de dados

A coleta de dados para inserção no Registro de Eventos de Defesa Social - REDS, da Polícia Militar de Minas Gerais apresenta desafios significativos que impactaram a dinâmica do meu estudo, especialmente no que diz respeito à análise e processamento dos dados relacionados aos incêndios florestais. Embora o sistema REDS seja uma ferramenta crucial para o registro e monitoramento de eventos operacionais e administrativos, a coleta e organização das informações sobre incêndios exigiram um esforço adicional devido às especificidades dos dados necessários para a pesquisa.

Os dados inseridos no REDS frequentemente dependem de várias variáveis, como a localização exata, o contexto do evento e informações específicas sobre as causas dos incêndios florestais, o que nem sempre é registrado de maneira padronizada ou detalhada nas unidades policiais militares, tendo em vista que não é apenas policiais que atuam na atividade de meio ambiente que registra essas ocorrências. Isso gerou a necessidade de organizar e complementar as informações para possibilitar uma análise mais profunda.

Além disso, a falta de alguns dados complementares e a necessidade de triangulação das informações com outros recursos, como relatórios e registros paralelos, exigiram uma abordagem mais cuidadosa na interpretação. A inserção no REDS nem sempre refletia as complexas variáveis presentes nos incêndios florestais, como características do terreno, fatores climáticos e humanos, o que dificultou a modelagem precisa de certos padrões. No entanto, apesar dessas dificuldades, o sistema forneceu uma base valiosa para a análise, mesmo que o processo de coleta e organização das informações tenha exigido mais tempo e esforço do que o inicialmente planejado.

Um ponto positivo a ser destacado é que a experiência prática dos policiais militares envolvidos nos registros do REDS e o treinamento específico na área ambiental contribuem diretamente para a qualidade das informações registradas. Os policiais com experiência e conhecimento na área ambiental, especialmente aqueles que atuam na fiscalização de crimes ambientais, são mais aptos a realizar registros mais detalhados e precisos, reconhecendo a importância das variáveis ambientais no contexto dos incêndios. Isso facilita a coleta de dados mais completos e significativos, aprimorando a qualidade do banco de dados do REDS.

Esses desafios na coleta e organização dos dados, embora não comprometessem a integridade das informações, evidenciaram a necessidade de um aprimoramento nas práticas de registro e no fluxo de dados no REDS, para otimizar o uso dessas informações em pesquisas futuras. Esses ajustes podem contribuir para melhorar a qualidade e a consistência dos registros,

facilitando a análise de eventos críticos, como os incêndios florestais, e possibilitando uma tomada de decisão mais eficiente no futuro.

Para identificar as fontes de ignição dos incêndios florestais na área da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, foi realizado um levantamento de ocorrências registradas entre 2011 e 2022. Este período foi considerado, tendo em vista que a partir de 2008, os registros policiais, que antes eram manuais, passaram a ser realizados de forma digital, iniciando pela capital mineira e avançando para o interior do estado, sendo consolidado em todo o território estadual somente a partir de 2010 (Rosa; Oliveira, 2014). A evolução do processo de registro, de manual para digital, representou um avanço importante na coleta e organização dos dados. No entanto, a transição entre esses sistemas e a adaptação das unidades de Polícia Militar, particularmente no que se refere à especificidade dos incêndios florestais, resultou em algumas dificuldades na padronização e integridade das informações registradas. Isso exigiu uma análise mais detalhada do banco de dados disponível, considerando as limitações decorrentes dessa mudança e a influência que tais variáveis tiveram nas fontes de ignição analisadas ao longo do período estudado.

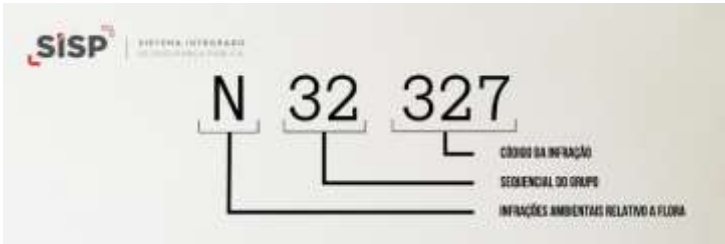
Os dados foram extraídos da plataforma de Registros de Eventos de Defesa Social, acessada através do Sistema Integrado de Segurança Pública, um sistema modular e integrado instituído pelo Decreto Nº 43.778, de 12 de abril de 2004, que centraliza informações sobre ocorrências policiais e bombeiros, investigações, processos judiciais e execução penal no estado de Minas Gerais.

A pesquisa dos dados foi realizada por meio de acesso restrito à plataforma digital, disponível exclusivamente para integrantes dos sistemas de segurança pública, como policiais militares, bombeiros, policiais civis e penais. Para a realização deste estudo, a manipulação dos dados foi autorizada pelo Comando Geral da Polícia Militar de Minas Gerais, sob a coordenação do Centro de Pesquisa e Pós-Graduação, conforme estabelecido no Termo de Anuência, Anexo A.

Todo o processo de pesquisa foi conduzido em conformidade com a Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), garantindo a integridade e a privacidade dos dados utilizados. Para este estudo, foram selecionadas exclusivamente as ocorrências codificadas com o número N 32327, relacionadas a incêndios florestais em matas e florestas, conforme as diretrizes estabelecidas na Diretriz Integrada de Ações e Operações -DIAO do Sistema de Defesa Social do Governo do Estado de Minas Gerais.

Aplicou-se os seguintes filtros: Data, Município do fato e a codificação, para restringir apenas às ocorrências de provocar incêndios em florestas, matas e/ou vegetações (Figura 3).

Figura 3 - Descrição da codificação da ocorrência de incêndio florestal, utilizado na restrição da pesquisa.



Fonte: Do autor (2024).

Na filtragem do campo município do fato, foi aplicado o filtro aos 44 municípios pertencentes à área de estudo, de forma individualizada (Quadro 1).

Quadro 1 - Municípios pertencentes à área de estudo e suas respectivas unidades operacionais (Continua).

Lista de municípios	Unidades policiais militares
Cambuquira Campanha Conceição do Rio Verde Jesuânia Lambari Monsenhor Paulo Olímpio Noronha São Bento Abade São Thomé das Letras Três Corações *	16ª Cia Ind
Boa Esperança Carmo da Cachoeira Coqueiral Elói Mendes Guapé Ilicínea Santana da Vargem	24º BPM

Quadro 1 - Municípios pertencentes à área de estudo e suas respectivas unidades operacionais (Conclusão).

Lista de municípios	Unidades policiais militares
Três Pontas Varginha *	24º BPM
Aguanil Bom Sucesso Campo Belo Cana Verde Candeias Carmo da Mata Carmópolis de Minas Carrancas Cristais Ibituruna Ijaci Ingaí Itumirim Itutinga Lavras * Luminárias Nepomuceno Oliveira Passa Tempo Perdões Piracema Ribeirão Vermelho Santana do Jacaré Santo Antônio do Amparo São Francisco de Paula	8º BPM

Legenda: Os asteriscos representam as sedes das unidades operacionais da Polícia Militar de Minas Gerais.

Fonte: Do autor (2024).

Os filtros foram compostos de acordo com a Figura 4, onde os registros de ocorrências com a codificação N 32327, e o município referenciado, foi aplicado ao período compreendido entre 01/01/2011 a 31/12/2022.

De todas as ocorrências, observou-se que seis ocorrências não estavam corretamente codificadas, ou seja, foram classificadas com a codificação N 32327 – Provocar incêndio em mata ou floresta, todavia a ocorrência não representava a codificação, ou seja o histórico da ocorrência não condizia com a codificação registrada. Foi observado que, dois registros eram complementações de ocorrências de incêndios florestais já registradas, sendo estas com sufixo 002, sendo estes excluídos do estudo, mantendo apenas 500 registros.

Figura 4 - Imagem da página de pesquisa do Registro de Evento de Defesa Social, plotada do site do Sistema Integrado de Segurança Pública.

SISP
Sistema Integrado de Segurança Pública

Registro de Eventos de Defesa Social (REDS)
Usuário conectado: (PM1421032) - LEANDRO CARVALHO VIEIRA

Registros Históricos

Parâmetros de pesquisa: **Pesquisar**

Data do Fato: 01/01/2011 a 31/12/2022 dd/mm/aaaa ou mm/aaaa ou aaaa

Órgão: POLICIA MILITAR

Tipo Relatório: Boletim de Ocorrência Policial

Ordenação:

Relacione abaixo valores a serem pesquisados e em quais campos:

Parâmetros de pesquisa:

Campos Disponíveis:

- CPF/CNPJ do Envolvido
- Telefone do Envolvido
- Endereço do Envolvido
- Envolvimento
- Local do Fato
- Município do Fato
- Bairro do Fato
- Logradouro do Fato
- Número do Logradouro
- Materiais e Armas Brancas

Campos Selecionados:

Inserir regra **Pesquisar**

Tipo de pesquisa: ☒ E ☐ OU

Parâmetros de pesquisa	Campos	
N32327	Natureza	☒
LAVRAS	Município do Fato	☒

Fonte: Sistema Integrado de Segurança Pública do Estado de Minas Gerais (SISP, 2024).

Após a aplicação dos filtros, as ocorrências registradas pelas equipes do policiamento da 6ª RPM e da 5ª Companhia de Policiamento Ambiental, vinculadas ao Batalhão de Policiamento Ambiental, foram consolidadas em uma única planilha para análise. Esse levantamento cobre o período de 2011 a 2022 e adota uma abordagem quali-quantitativa para investigar as fontes de ignição dos incêndios florestais na área de abrangência da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais (Gil, 2002, 2017).

As informações extraídas incluem: coordenadas geográficas, município do fato, dia da ocorrência, mês da ocorrência, número do REDS, dentre outras informações que não eram relevantes para o estudo.

3.3 Análise de dados

3.3.1 Análise de conteúdo textual

A Análise de Conteúdo Textual é uma técnica amplamente utilizada nas ciências sociais e na pesquisa qualitativa para interpretação e categorização de dados textuais. Este método tem o objetivo de examinar textos de forma sistemática, a fim de identificar e entender padrões, temas e mensagens subjacentes presentes nas informações que estão sendo analisadas. A análise de conteúdo pode ser aplicada a uma variedade de fontes, como entrevistas, documentos, notícias, livros, artigos científicos, e outras formas de produção escrita.

A Análise de Conteúdo, como metodologia, foi inicialmente desenvolvida por Bardin (2011), que descreveu um processo analítico sistemático que envolve identificar unidades de significado, categorizá-las de acordo com uma estrutura teórica ou objetiva e, em seguida, extrair significados e interpretações baseadas nessas categorias. A análise pode se concentrar tanto na forma quanto no conteúdo do texto, considerando elementos como contexto, estrutura, e mensagens explícitas e implícitas.

Após a extração dos dados, conforme sugere (Yakar, 2017), foi realizado a análise de conteúdo textual no histórico das ocorrências sendo inserido outras informações extraídas do texto da ocorrência, como: a causa do incêndio florestal, inserção em unidades de conservação ou áreas de preservação permanente, presença de perícia criminal a participação de órgãos como IEF, Corpo de Bombeiros, prefeituras ou brigadas de incêndio.

Bardin (2011), afirma que a análise de conteúdo textual transforma a informação em algo que, ao ser decodificado e analisado, pode revelar a informação superficial e também os significados subjacentes nas entrelinhas do material analisado.

A categorização rigorosa dentro da análise de conteúdo permite que o pesquisador apresente resultados quantificáveis, como frequências ou padrões recorrentes, que aumentam a robustez dos resultados (Flick, 2009). As informações extraídas foram categorizadas em sete classes de fonte de ignição de incêndios que são:

1. **Antrópica definida:** eventos causados diretamente por ação humana, intencional ou acidental, com identificação do autor.
2. **Antrópica indefinida:** casos em que a ação humana é citada, mas sem identificação do autor ou da fonte de ignição.
3. **Descargas atmosféricas:** incêndios causados por raios.
4. **Descargas elétricas:** incidentes envolvendo redes de energia elétrica públicas ou privadas.
5. **Fogos de artifício:** eventos originados pelo uso de artigos pirotécnicos, seja por motivações religiosas, esportivas ou outras.
6. **Rodovia/estrada indefinida:** ocorrências iniciadas às margens de rodovias ou estradas vicinais.
7. **Indefinida:** casos em que nenhuma das causas acima pôde ser determinada.

Todas essas informações foram organizadas em planilhas para análise quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa identificou padrões de ocorrência, enquanto a qualitativa explorou as áreas de maior prevalência dos incêndios. Essa abordagem visa orientar ações de fiscalização ambiental mais efetivas e estratégias para mitigar futuros eventos dessa natureza.

Segundo Rodríguez *et al.* (2013), prever a ignição e propagação de incêndios florestais, bem como monitorar os poluentes atmosféricos emitidos, é essencial para otimizar a gestão de recursos, prevenir ocorrências, melhorar a detecção precoce e monitorar os impactos na saúde pública.

Dessa forma, este estudo se alinha a esses objetivos, contribuindo para o planejamento de ações integradas de prevenção e combate a incêndios florestais na área de estudo.

3.3.2 Análise de Correspondência

A análise de correspondência foi utilizada como uma técnica estatística para explorar e visualizar as relações entre variáveis qualitativas associadas às ocorrências de incêndios florestais na área de responsabilidade da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais. Inicialmente, uma tabela de contingência foi construída, agregando os dados referentes às fontes de ignição e outras variáveis relevantes, como localização geográfica e período do ano. A partir dessa tabela, a análise de correspondência foi realizada para identificar padrões e associações entre as categorias das variáveis, permitindo uma representação gráfica que facilita a interpretação dos dados (Greenacre, 2023). Os resultados dessa análise possibilitaram a

identificação de agrupamentos e distâncias entre as categorias, contribuindo para uma compreensão mais abrangente das características das ocorrências de incêndios florestais (Greenacre, 2023).

3.3.3 Análise de Contingência

A análise de contingência foi realizada para examinar a relação entre as variáveis qualitativas relacionadas às ocorrências de incêndios florestais. Essa análise envolveu a construção de tabelas de contingência que cruzam as variáveis de interesse, como a fonte de ignição e a classificação do local do incêndio. O teste do qui-quadrado foi aplicado para verificar a independência das variáveis, permitindo determinar se as fontes de ignição estão associadas a diferentes categorias de localização ou outros fatores contextuais (Riani *et al.*, 2022; Wang, 2019). A significância estatística foi considerada a partir de um nível de significância de 5%, onde um valor p inferior a 0,05 indicou uma associação significativa entre as variáveis analisadas.

As análises foram realizadas no software R, versão 3.2.4, utilizando pacotes específicos para análises de correspondência e de contingência, permitindo uma interpretação robusta e visualmente acessível dos dados.

3.3.4 Análise de Correlação espacial

A análise de correlação espacial tem sido amplamente utilizada na avaliação dos padrões de ocorrência de incêndios florestais, permitindo identificar fatores ambientais, climáticos e antrópicos que contribuem para a distribuição do fogo. Este método possibilita a identificação de hotspots e a correlação entre variáveis espaciais, como uso do solo, topografia, clima, auxiliando na tomada de decisões para a gestão territorial.

Alguns estudos têm aplicado diversas metodologias para investigar esses padrões. Por exemplo, a função K de Ripley foi utilizada para analisar a distribuição espacial de áreas queimadas no norte de Minas Gerais, identificando padrões de agregação das queimadas e auxiliando na compreensão da propagação do fogo na região (Pereira *et al.*, 2012).

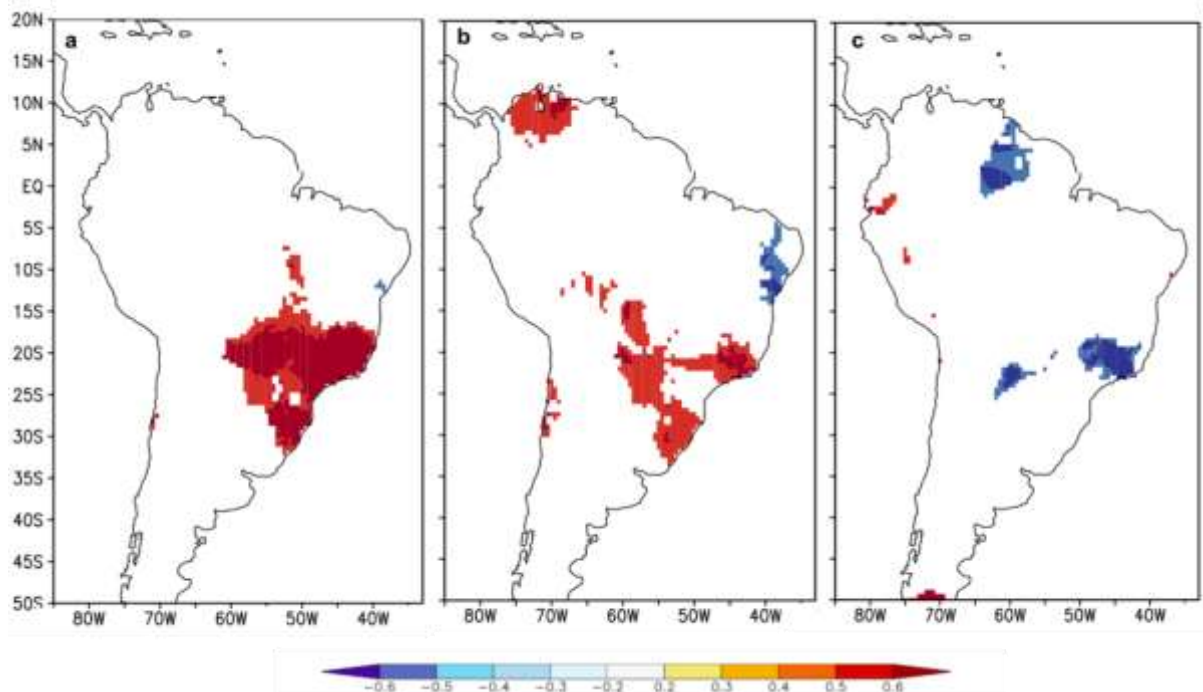
Além disso, a modelagem espacial de risco de incêndio florestal, integrando variáveis climáticas como precipitação e umidade, foi aplicada no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Essa abordagem permitiu determinar as regiões mais susceptíveis ao fogo, fornecendo subsídios para ações preventivas (Alves; Nóbrega, 2011).

Um estudo relevante analisou a incidência temporal e espacial de focos de calor nos biomas brasileiros, evidenciando a sazonalidade das ocorrências e a influência das condições climáticas no padrão temporal dos incêndios (Jesus *et al.*, 2018).

A análise de correlação espacial no estudo foi positiva e mais abrangente com o potencial evaporativo da região (Figura 5a). O potencial evaporativo é uma importante variável pois representa a demanda de água pela atmosfera e é utilizada em importantes índices no hemisfério norte para indicadores de secas que darão suporte para a prevenção de incêndios florestais (Miller *et al.*, 2021). Além disso, o cálculo para se obter o potencial evaporativo considera a umidade relativa, déficit de vapor de pressão, temperatura e dados de velocidade média diária do vento (Penman, 1948; Sinclair, 2019), que são variáveis importantes no estudo de incêndios.

A temperatura máxima e precipitação correlacionaram positivamente e negativamente, respectivamente, com o número de ocorrências, entretanto em uma área mais reduzida da região (Figura 5b e 5c).

Figura 5 - Correlações climáticas espaciais entre a quantidade de ocorrências de incêndios e Potencial de evaporação (a), Temperatura Máxima (b) e Precipitação (c) dos meses de agosto a outubro do CRU TS v4.07 entre os anos de 2011 a 2022.³

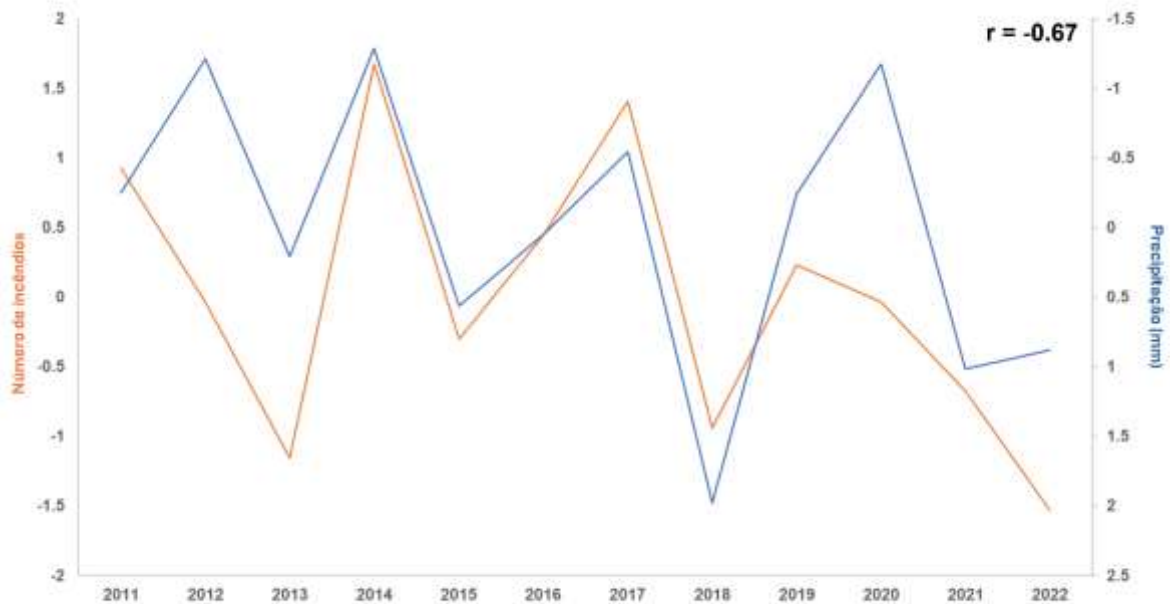


Fonte: Do autor (2024).

³ As análises foram realizadas no *KNMI climate explorer* (<https://climexp.knmi.nl/>).

A variação de número de ocorrências anuais ao longo dos anos é observada na nossa série temporal, o ano de 2014 foi o ano com maior número de incêndios entre 2011 a 2022. A correlação entre o total de precipitação anual e o número de ocorrências anuais evidencia que o ano de 2014 foi um ano com precipitação abaixo da média e que correlacionou fortemente e negativamente com o aumento do número de ocorrências de incêndio (Figura 6). O ano de 2014 foi o ano com a maior seca já registrada até aquele momento levando a crise hídricas intensas no Sudoeste brasileiro (Nobre *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). A seca perdurou desde o verão de 2013/2014 a 2014/2015, sendo que a região do presente estudo foi mais afetada durante o ano de 2014/2015 com altas ondas de calor e baixa umidade no solo (Geirinhas *et al.*, 2021). A forte correlação com o clima valida os registros de ocorrências do estudo demonstrando a importância de registros bem feitos e modernização do sistema para que possa ser usado em estudos futuros com séries temporais maiores.

Figura 6 - Séries de dados de precipitação total anual da região de estudo (20,276°S a 22,276°S e 44,237° a 46,237°; linha azul) e número de ocorrência de incêndios (linha laranja) normalizados, e correlação de Pearson. Note que o eixo y da precipitação está invertido.

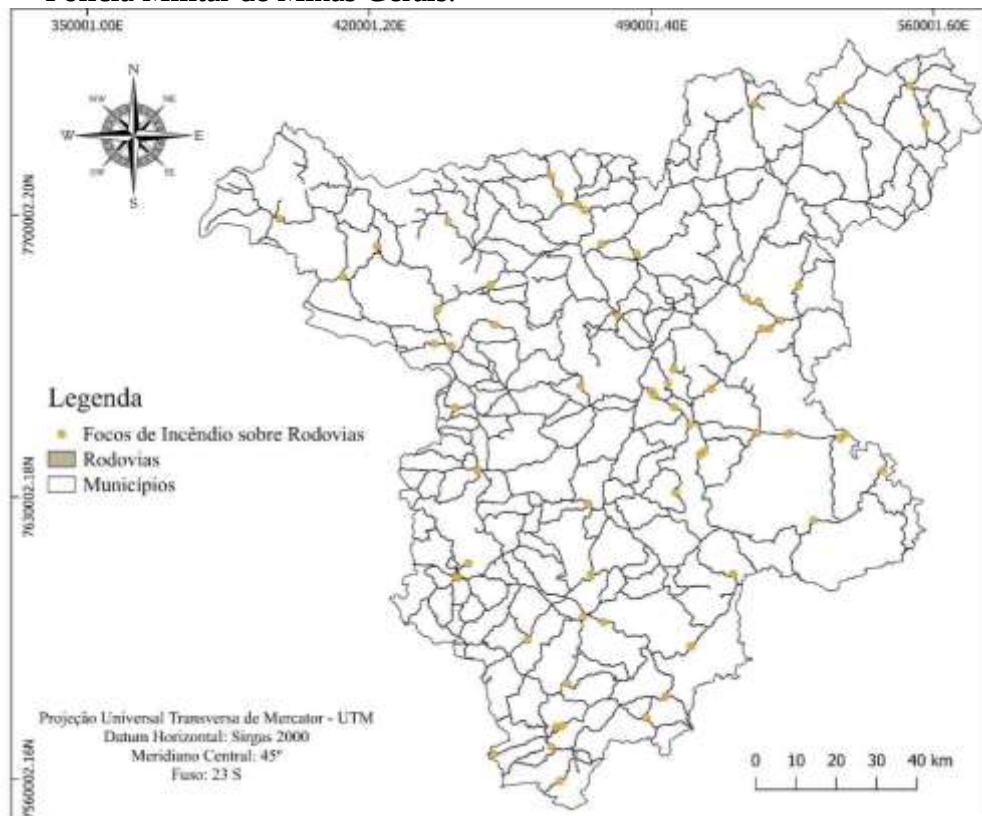


Fonte: Do autor (2024).

Essas abordagens evidenciam a relevância da análise espacial para compreender e manejar os incêndios florestais. Ao integrar diferentes métodos e variáveis, é possível propor intervenções mais precisas e eficientes na proteção dos ecossistemas ameaçados pelo fogo.

As causas dos incêndios florestais, especialmente nas proximidades de rodovias e estradas, constituem um fator significativo, com 77 registros atribuídos a ignições iniciadas nas margens dessas vias. Esses eventos ocorreram principalmente durante os meses de maior incidência de incêndios, como agosto, setembro e outubro, períodos em que a vegetação está extremamente seca. A Figura 7 demonstra uma sobreposição frequente entre as áreas queimadas e as malhas viárias, evidenciando a relevância dessa classe de causas. Tais incêndios podem estar associados a atividades de pessoas que circulam às margens das vias, como andarilhos, que em alguns casos podem apresentar distúrbios mentais ou até mesmo um comportamento deliberado de provocar incêndios, conforme observado em alguns registros.

Figura 7 - Focos de incêndios florestais coincidentes com rodovias e estradas da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



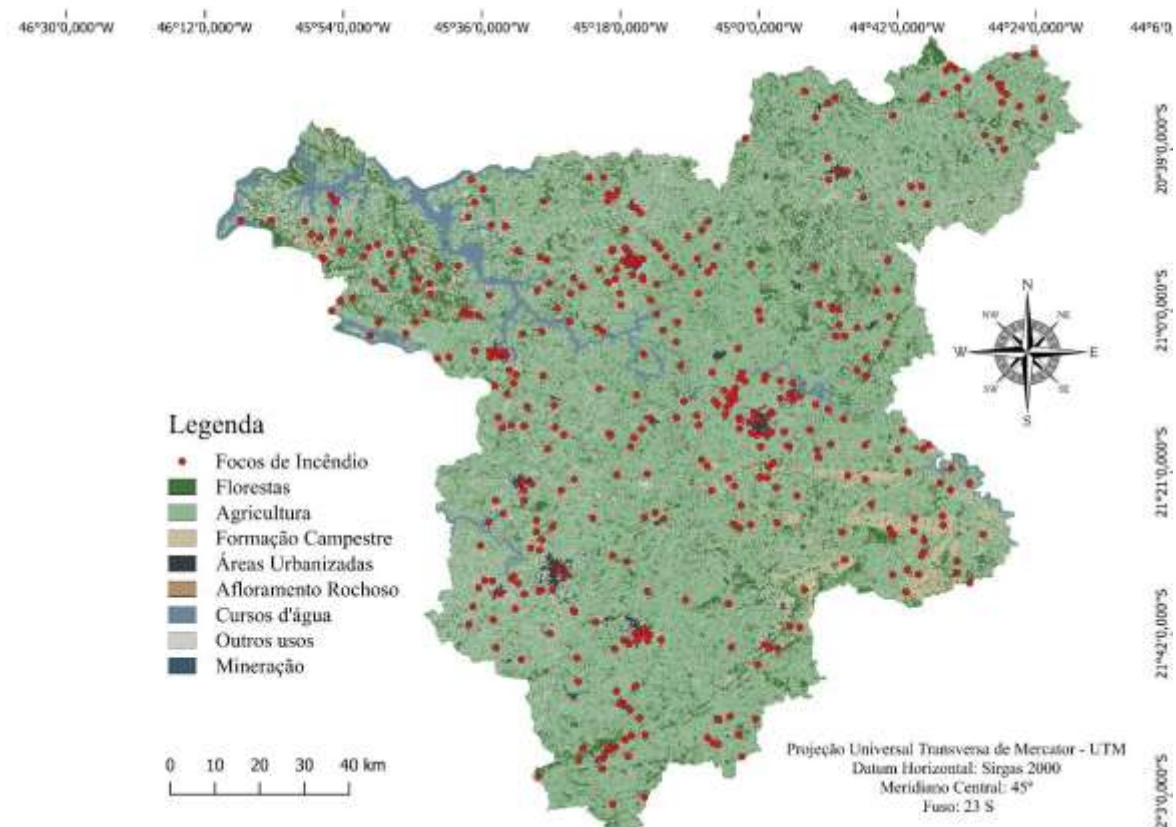
Fonte: Do autor (2024).

Resultados semelhantes foram observados em uma análise multicritério realizada no mapeamento de risco de incêndios florestais na bacia do Rio Corumbataí, SP. O estudo identificou que as áreas marginais às rodovias apresentam alto risco de incêndios, em razão da possibilidade de ignição originada por veículos, cargas e fogueiras acesas por transeuntes (Pereira *et al.*, 2013).

A Figura 7 reforça a importância da infraestrutura rodoviária na distribuição dos incêndios florestais. Em grande parte dos municípios, as rodovias funcionam como vetores de propagação humana, resultando na concentração de focos nas áreas próximas às estradas e nas regiões urbanas. A variabilidade espacial dos incêndios florestais está intimamente relacionada às características locais, tanto no que diz respeito ao uso do solo quanto às atividades humanas predominantes. A alta proporção de registros classificados como "Indefinidos" aponta para a necessidade de aprimorar os processos de coleta e registro de dados, especialmente no que se refere às perícias criminais.

Foram realizadas perícias criminais em 11 das ocorrências analisadas, enquanto 16 ficaram pendentes, não sendo possível confirmar se foram efetivamente realizadas posteriormente. Juntas, essas ocorrências representam apenas 5,2% do total registrado, um índice muito baixo, o que compromete a compreensão mais aprofundada dos fatores de ignição.

Figura 8 - Focos de incêndios florestais relacionados a uso e ocupação do solo da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2024).

A Figura 8 apresenta uma análise espacial onde demonstra a ocorrência dos focos de incêndios na região de estudo, onde integra os dados do uso e ocupação do solo. As análises

revelam padrões diversificados de distribuição dos incêndios, bem como a sobreposição com atividades antrópicas e manchas urbanas.

Pode-se observar a sobreposição de focos de incêndio em diferentes categorias de uso do solo, como florestas, agricultura e formações campestres, Figura 8. A predominância dos incêndios nas áreas florestais pode indicar a vulnerabilidade desses ambientes, seja devido à combustão natural ou a práticas humanas, como queimadas agrícolas para limpeza de terreno para novos cultivos ou renovação de pastagens (Rabin *et al.*, 2015).

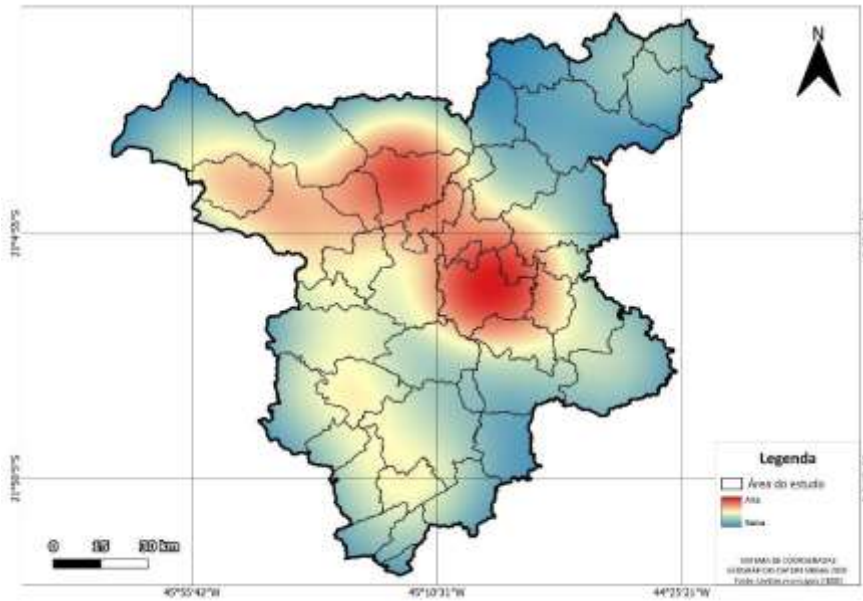
As causas naturais observadas limitaram-se a descargas atmosféricas, responsáveis por 0,6% do total de registros. Entre os três eventos associados a essa causa, dois ocorreram na zona de amortecimento do Parque Estadual Serra da Boa Esperança, em altitudes superiores a 1200 metros, condições que favorecem o fenômeno. A falta de informações detalhadas em outros registros sugere que algumas ocorrências classificadas como causas indefinidas podem, na verdade, ter sido provocadas por descargas atmosféricas, considerando as características topográficas das áreas afetadas (Hessilt *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2024).

Geograficamente, a distribuição dos registros apresentou variações significativas entre os municípios da área de estudo. Campo Belo, Lavras e Boa Esperança concentraram o maior número de ocorrências, enquanto outros municípios, como São Bento Abade, registraram poucos ou nenhum incidente, sendo este último sem nenhum registro de incêndio durante o período analisado. Também foi constatado que muitos incêndios atingiram áreas legalmente protegidas, como Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Unidades de Conservação (UCs), evidenciando a vulnerabilidade dessas regiões frente a esse tipo de evento.

Em um registro na cidade de Carrancas, três brigadistas perderam a vida enquanto combatiam um grande incêndio florestal ocorrido em 2014, que foi causado por fogos de artifício (Bazenga; Góis, 2023). Nas ocorrências analisadas, observou-se também a atuação de diversas equipes, incluindo o Corpo de Bombeiros Militar, o Instituto Estadual de Florestas e brigadas voluntárias.

As concentrações de crimes são representadas frequentemente através de mapas de estimativa da densidade Kernel (DK) (Bowers, 2004; Ratcliffe; McCullagh, 1999). A ideia desta representação é a criação de uma superfície contínua no formato raster, baseada na densidade das ocorrências de incêndios florestais da área de estudo.

Figura 9 - Mapa de estimativa de densidade Kernel referente aos incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2024).

A Figura 9 revela uma alta concentração de focos de incêndio florestais na região central da área de estudo, com concentrações mais discretas nas regiões noroeste e sul. A área central também concentra a maior parte da população da região, incluindo as maiores cidades. Observa-se ainda uma baixa concentração de focos nas extremidades da área, o que pode ser explicado pelo fato de essas zonas serem limítrofes entre diferentes regiões policiais, o que possivelmente contribui para uma subnotificação das ocorrências de incêndios florestais. A distribuição dos pontos no mapa de estimativa de densidade de Kernel sugere a formação de um "Hotspot".

Esses dados podem fornecer subsídios importantes para os comandos militares do policiamento ambiental, auxiliando nas decisões sobre o lançamento de operações preventivas para coibir e mitigar as ocorrências recorrentes identificadas neste estudo. Além disso, destaca-se a necessidade de um monitoramento mais rigoroso em áreas de interface urbana, periurbana, florestal e agrícola dentro da área de estudo.

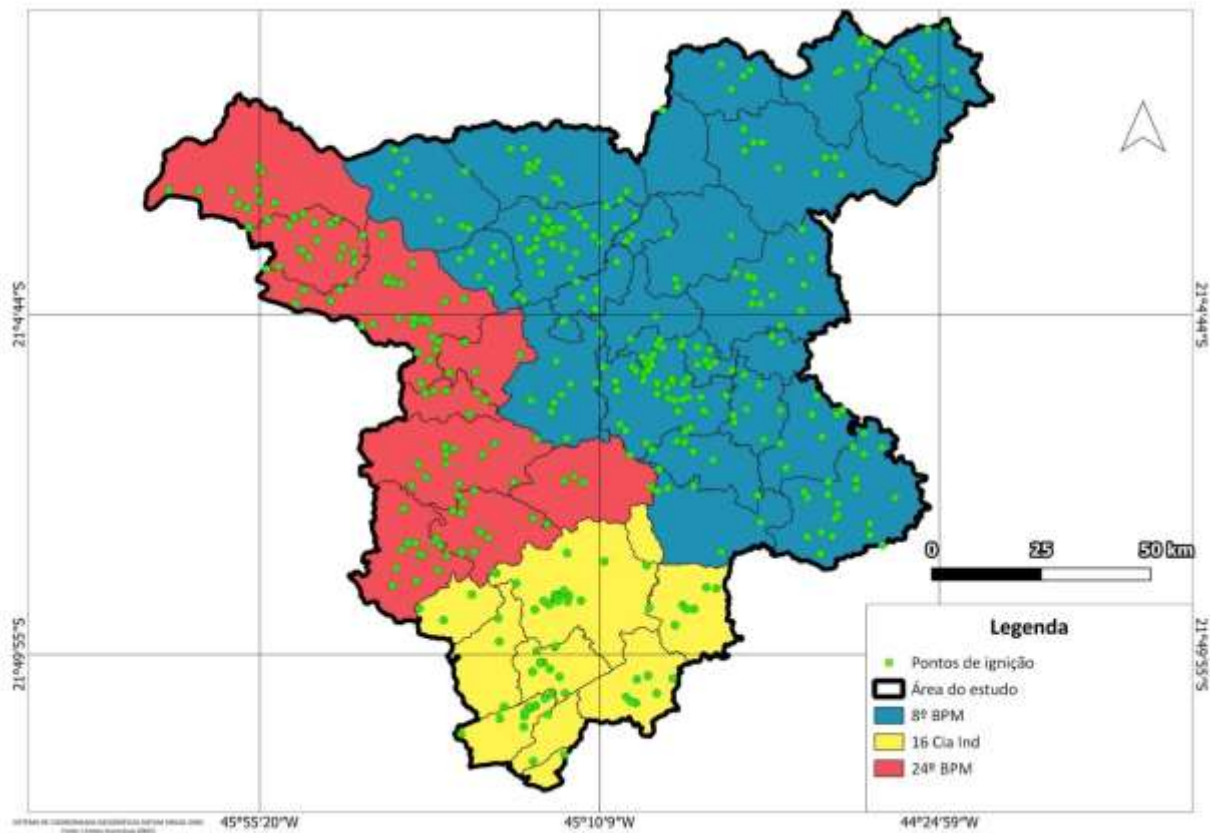
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi identificado um total de 500 ocorrências de incêndios florestais registradas pela Polícia Militar de Minas Gerais na área da 6ª RPM, conforme demonstrado na Figura 10, a partir dessa fonte secundária. Dentre essas 500 ocorrências, 55,8% ocorreram na área do 8º BPM, abrangendo 25 municípios; 30,4% pertencem à área do 24º BPM, com nove municípios; e 13,8% estão na área da 16ª Cia Ind, representando dez municípios. É importante ressaltar que as ocorrências analisadas no estudo se referem apenas aos registros feitos pelos policiais militares da 6ª RPM, e, portanto, não refletem a totalidade dos focos de incêndios que ocorreram na área de estudo.

Observou-se também que os focos de incêndios florestais estão distribuídos de maneira dispersa na região. Os relatos contidos nos relatórios policiais fornecem informações valiosas sobre as categorias atribuídas pela polícia, oferecendo dados cruciais para a compreensão dos padrões de criminalidade.

Estudos, como o de Zhou *et al.* (2022), utilizou documentos narrativos de ocorrências policiais para analisar a distribuição espacial do crime. Nesse sentido, tais estudos corroboram a afirmação de que as informações registradas nos relatórios ou sistemas informatizados, como os registros policiais, desempenham um papel fundamental na análise e no mapeamento da criminalidade.

Figura 10 - Mapa da distribuição espacial das ocorrências de incêndios florestais registrados pelos policiais militares da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



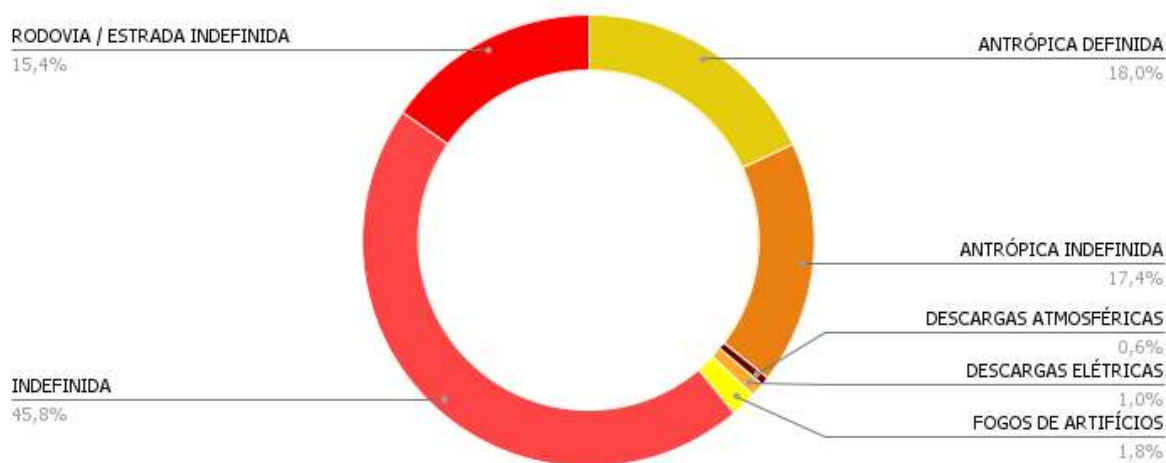
Fonte: Do autor (2024).

A Figura 11 apresenta as causas dos incêndios florestais, destacando que 229 registros foram atribuídos a causas indefinidas, 191 a ações antrópicas (dolosas ou culposas), 77 relacionadas a ignições nas margens de rodovias ou estradas, e apenas 3 provocadas por causas naturais, especificamente descargas atmosféricas. Esses dados evidenciam a prevalência de causas não determinadas, refletindo a necessidade de um maior detalhamento nas investigações policiais.

Os incêndios de origem antrópica foram subdivididos em causas definidas, indefinidas e relacionadas ao uso de fogos de artifício. As causas definidas, que totalizaram 92 eventos, incluíram atividades como limpeza de áreas agrícolas, queima de resíduos, incidentes durante o aquecimento de alimentos, uso de cigarros e ações intencionais. Destacaram-se a prática de queima de terrenos para plantio e resíduos de culturas como as principais fontes de ignição. Casos inusitados, como incêndios provocados por pessoas em situação de rua ou trabalhadores rurais, também foram registrados. Já as causas antrópicas indefinidas, com 86 registros, envolveram eventos em que o autor ou o motivo não foram identificados, mas que apresentavam indícios de origem humana.

O uso de fogos de artifício, representado por 9 registros, surge como um fator relevante, especialmente em períodos de festividades religiosas, como no mês de outubro, quando ocorrem comemorações religiosas nacionais, momento em que o uso de fogos de artifício é comum. A análise dos registros deste mês sugere uma possível relação entre os eventos classificados como indefinidos e o uso de fogos de artifício. Curiosamente, em anos de grandes eventos esportivos, como a Copa do Mundo, não foi observado um aumento significativo no número de incêndios, mesmo com o uso intenso de fogos nesse contexto.

Figura 11 - Gráfico de distribuição das causas das ocorrências de incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2024).

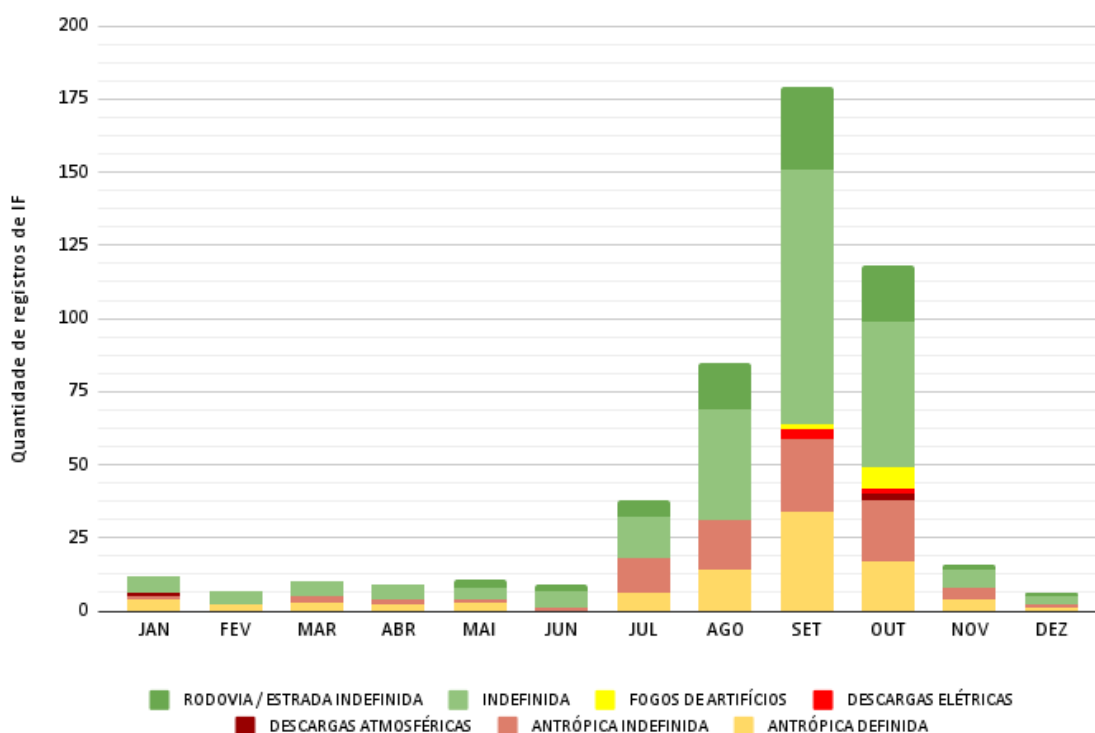
As ocorrências indefinidas foram as mais numerosas, somando 228 registros, ou 45,8% do total (Figura 11). A falta de investigações aprofundadas é um desafio evidente, uma vez que apenas 5% dos casos contaram com perícia criminal, limitando o entendimento sobre a origem desses eventos. Além disso, cinco registros foram associados a descargas elétricas, sendo quatro deles sem causa definida, enquanto um foi atribuído a um acidente envolvendo a manutenção de uma rede de internet, que provocou um incêndio significativo no município de Ibituruna.

Do ponto de vista da série temporal, o estudo revelou uma tendência de redução das ocorrências ao longo dos anos, com uma média de 45 registros anuais. Os anos de 2013, 2018 e 2022 apresentaram as menores quantidades de incêndios, enquanto 2011, 2014 e 2017 registraram os maiores números. Os autores Rodrigues *et al.* (2022) corroboram esse resultado, analisando os incêndios florestais no município de Carrancas e constatando que apenas em 2014 houve um pico nos registros de incêndios florestais.

A sazonalidade foi um aspecto marcante, com 76,6% dos eventos concentrados nos meses de agosto, setembro e outubro, refletindo as condições climáticas características desse

período. A análise temporal revelou que as causas, em geral, estão bem distribuídas ao longo do ano, com exceção das causas referentes a fogos de artifício, que se concentraram todas no mês de outubro, provavelmente relacionadas aos eventos religiosos (Figura 12).

Figura 12 - Gráfico das causas dos incêndios florestais distribuídos entre os meses do ano na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2024).

Fica evidente, conforme Figura 12, que os meses com o maior número de ocorrências de incêndios florestais foram agosto, com 85 registros; setembro, com 179 registros; e outubro, com 118 registros, corroborando assim os resultados encontrados por Rodrigues *et al.* (2022), que observaram os mesmos padrões para a cidade de Carrancas/MG.

A distribuição temporal dos incêndios florestais no período estudado apresentou resultados já esperados, considerando os impactos climáticos (Figura 12). Conforme ilustrado na Figura 13, os anos com o maior número de registros foram 2011, com 59 ocorrências; 2014, com 73 ocorrências; e 2017, com 68 registros, resultado semelhante ao encontrado por Rodrigues *et al.* (2022), que também observou um aumento significativo nos incêndios em 2014.

A análise das causas dos incêndios florestais nos municípios estudados revelou padrões distintos de ocorrência, refletindo diferentes contextos socioambientais e potenciais fatores regionais. Na Figura 12, as causas dos incêndios foram distribuídas entre categorias como

Antrópica Definida (AD), Antrópica Indefinida (AI), Descargas Atmosféricas (DA), Descargas Elétricas (DE), Rodovia/Estrada Indefinida (REI), Fogos de Artifício (FA) e indefinida (ID).

Figura 13 - Gráfico de ocorrências de incêndios florestais na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais (2011-2022).



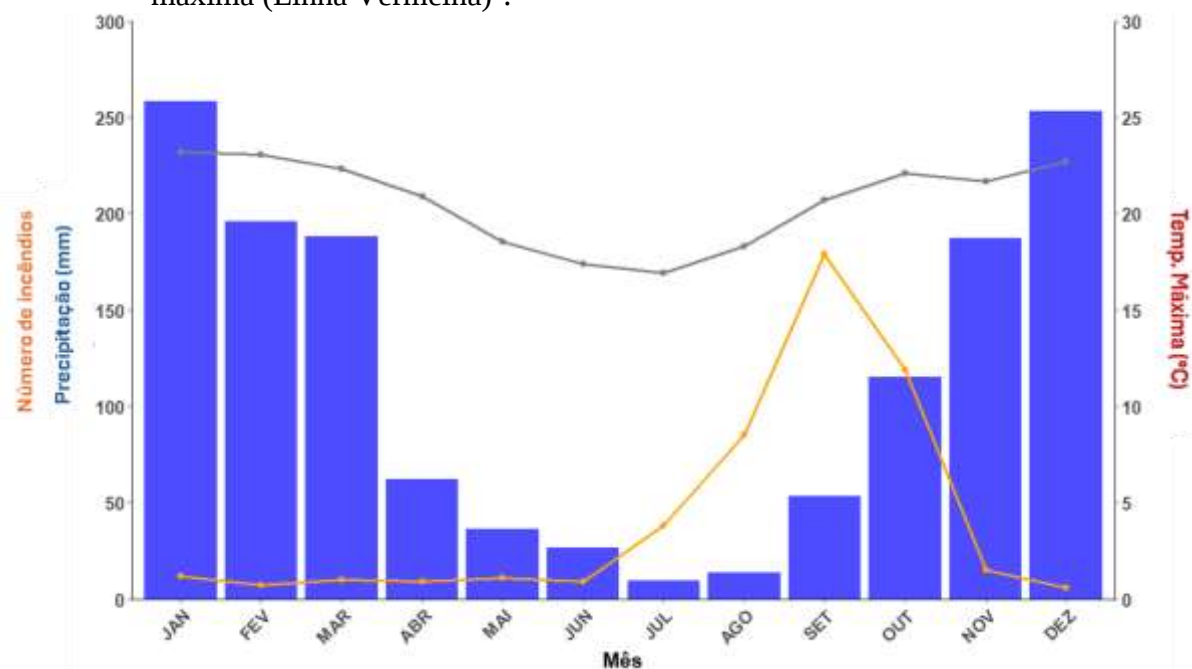
Fonte: Do autor (2024).

As ocorrências de incêndios florestais estão intimamente relacionadas às variáveis climáticas, conforme observado por Ribeiro *et al.* (2022). Ao longo do ano, o aumento no número de incêndios ocorre no final da estação de inverno, período caracterizado por baixas temperaturas e umidade do ar reduzida (Figura 14).

Os meses de agosto, setembro e outubro se destacam devido ao aumento significativo no número de ocorrências. Setembro representa o pico dos incêndios do ano na região, coincidente com o aumento da temperatura máxima. Embora setembro não seja o mês com a maior temperatura máxima, os incêndios podem se intensificar devido ao longo período (~6 meses) de baixa precipitação e umidade. Esse cenário torna a vegetação altamente suscetível ao fogo, uma vez que a quantidade de combustível disponível no solo se acumula, facilitando a ignição.

2014 foi o ano marcado pela maior seca já registrada até aquele momento, o que levou a uma crise hídrica intensa no Sudoeste brasileiro (Nobre *et al.*, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). A seca perdurou desde o verão de 2013/2014 até o 2014/2015, sendo que a região do presente estudo foi particularmente afetada durante o ano de 2014/2015, com altas ondas de calor e baixa umidade do solo (Geirinhas *et al.*, 2021).

Figura 14 - Climatograma com os números de ocorrências de incêndios florestais mensais nos municípios selecionados (linha laranja), e Precipitação (linha azul) e Temperatura máxima (Linha Vermelha)⁴.



Fonte: Do autor (2024).

Municípios como Campo Belo, Lavras e Boa Esperança apresentaram uma maior concentração de registros de incêndios, o que pode ser parcialmente explicado pelo fato de esses municípios abrigam os grupamentos do policiamento ambiental, facilitando assim o acionamento e o registro de ocorrências ambientais. No entanto, também há grupamentos ambientais em municípios como Varginha e Oliveira, mas os registros nessas cidades não foram tão elevados, com Campo Belo destacando-se por concentrar 46,9% dos registros no perímetro urbano (Figura 15A e 15B).

Esses registros ocorrem em áreas de proteção ambiental dentro do perímetro urbano, que são classificadas como remanescentes de Mata Atlântica, conforme mostrado nas Figuras 15A e 15B. Nos registros de incêndios no perímetro urbano de Campo Belo, observou-se que a maioria das causas estão relacionadas à limpeza de lotes adjacentes a essas áreas de preservação, que, ao saírem de controle, acabam atingindo as referidas áreas protegidas.

⁴ Região de extração (20,276°S a 22,276°S e 44,237° a 46,237°) dos dados no CRU TS v4.07.

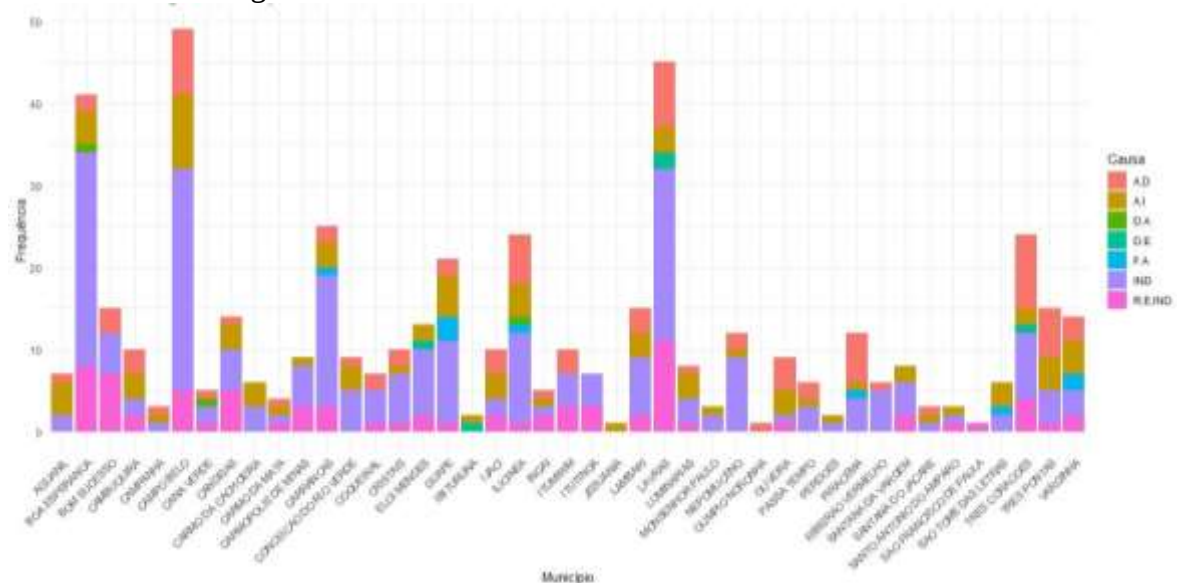
Figura 15 - Imagens de área de Preservação Ambiental nos bairros Jardim Europa e Vila Barbosa na cidade de Campo Belo/MG.



Fonte: Arquivo da PMMG (2024).

A Figura 16 destaca as causas indefinidas e antrópicas definidas, que estão presentes na maioria dos municípios analisados. Observa-se também que as causas relacionadas a rodovias/estradas indefinidas são comuns em diversos municípios, com maior significância em Boa Esperança, Lavras e Três Corações, cidades que possuem uma malha rodoviária de grande importância. As demais causas foram distribuídas de maneira mais equilibrada entre os municípios da área de estudo. Essa recorrência sugere limitações nas investigações realizadas, o que compromete a identificação precisa das origens dos incêndios.

Figura 16 - Gráfico de causas dos incêndios florestais relacionados aos municípios pertencentes à 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Legenda: Causas de incêndios florestais, como: A.D (Antrópica Definida) A.I (Antrópica Indefinida) D.E. (Descargas Elétricas); R.E.IND. (Rodovias/estradas indefinidas); F.A. (Fogos de Artíficos); D.A. (Descargas Atmosféricas) I.N.D (Indefinida).

Fonte: Do autor (2024).

Para constatar a associação, entre os municípios e as causas de incêndios, o teste do qui-quadrado demonstra a existência significativa entre os municípios e as causas dos incêndios destacando que o X^2 igual a 393,5 e o p-value de 0,0166, afirmando que a significância estatística. Dessa forma, as causas dos incêndios florestais variam de forma não aleatória entre os municípios, reforçando a importância de abordagens locais e personalizadas para o manejo e a prevenção de incêndios florestais para cada região (Figura 17).

Figura 17 - Biplot de Análise de Correspondência entre as causas dos incêndios florestais e os municípios da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.



Legenda: Os pontos vermelhos no gráfico representam as diferentes causas de incêndios florestais, como: A.D (Antrópica Definida) A.I (Antrópica Indefinida) D.E. (Descargas Elétricas); R.E.IND. (Rodovias/estradas indefinidas); F.A. (Fogos de Artíficos); D.A. (Descargas Atmosféricas) I.N.D (Indefinida) e os nomes em azul são os municípios da área de estudo.

Fonte: Do autor (2024).

A Figura 17, demonstra padrões de importância sobre as relações entre os municípios e as causas dos incêndios florestais, mostrando a correspondência de padrões da interação entre os municípios e as causas dos incêndios florestais. A primeira dimensão representada por 25,4% da variância explicada e a segunda dimensão com 21% da variância explicada juntas capturaram boa parte da variação. Essas dimensões explicam 46,4% da variância total, indicando que quase metade da relação entre os municípios e as causas pode ser compreendida a partir dessa representação. Esse percentual, embora não absoluto, é significativo para captar os principais padrões e tendências.

A associação dessas causas com os incêndios florestais como a Descarga elétrica (D.E) mostra uma relação com Ibituruna (Figura 17), onde sugere que nesta localidade, os incêndios causados por descuidos humanos predominam. Os fogos de artifícios (F.A) demonstram de

forma mais dispersa, com uma tendência de associação de forma mais moderada com os municípios como Varginha, Guapé e São Tomé. As Descargas Atmosférica (D.A), apresenta-se com uma menor frequência, predominando em locais mais afastados afirmando que é por associação de condições naturais.

Os municípios e a sua relação com a causas indicaram que, municípios como Três Corações, Boa Esperança, Lavras, Bom Sucesso e Carmópolis de Minas, formam um cluster em relação à causa R.E.I., sugerindo que registros de ignição associados a rodovias e estradas são significativos. As localidades mais centralizadas, como Campo Belo e Cambuquira, mostram uma maior diversidade de causas associadas, o que pode indicar uma complexidade maior nos fatores que levam aos incêndios.

As posições isoladas de alguns municípios no biplot (Figura 17) sugere a necessidade de abordagens mais personalizadas na formulação de políticas públicas, considerando as particularidades locais. Municípios centralizados no gráfico, por sua vez, podem demandar soluções mais amplas e integradas, já que apresentam múltiplas causas de incêndios.

Os resultados obtidos reforçam a complexidade das dinâmicas que contribuem para a ocorrência de incêndios florestais, evidenciando a interdependência entre fatores ambientais, humanos e climáticos. Essa complexidade demanda a adoção de estratégias regionais e multidimensionais, capazes de considerar as características específicas de cada local, como as condições ambientais, o uso do solo e os hábitos da população.

A implementação de ações preventivas e de mitigação deve, portanto, ser adaptada a cada contexto, envolvendo uma colaboração integrada entre as autoridades locais, comunidades e especialistas, a fim de promover soluções mais eficazes e sustentáveis no combate a esses incêndios.

5 CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas, o presente estudo investigou os incêndios florestais registrados pelos policiais militares na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais, proporcionando uma compreensão detalhada dos fatores humanos e naturais envolvidos nesses eventos. A pesquisa revelou padrões significativos, especialmente na relação entre os municípios e as causas dos incêndios, destacando a forte correlação entre os incêndios florestais e as condições climáticas. Esses resultados reforçam a relevância dos fatores ambientais específicos no desencadeamento dos incêndios.

Um achado crucial foi a quantidade expressiva de incêndios classificados como causados por fontes indefinidas, o que evidencia a falta de informações precisas nos registros policiais. Esse fenômeno pode ser atribuído a dificuldades logísticas, como o acesso restrito às áreas mais distantes e de difícil locomoção, bem como à escassez de perícias criminais, devido à limitação de recursos humanos e ao baixo efetivo de peritos da Polícia Civil de Minas Gerais. A ausência de investigação detalhada em muitos casos dificulta a identificação precisa das causas, prejudicando o desenvolvimento de estratégias de prevenção mais eficazes.

Além disso, foi observado que o uso de fogos de artifício, especialmente no mês de outubro, período de celebrações religiosas no meio rural, teve uma relação significativa com o aumento de incêndios. Muitos desses eventos foram classificados como de causa indefinida, sugerindo que os fogos de artifício podem representar um risco considerável, embora não sejam devidamente investigados nos registros. A utilização inadequada desses artefatos, principalmente em áreas de vegetação densa, exige maior fiscalização e campanhas educativas sobre os riscos envolvidos.

Outro ponto relevante foi a alta incidência de incêndios às margens de rodovias e estradas, onde as ocorrências de fogo se mostraram mais frequentes. As rodovias federais, estaduais ou municipais são pontos vulneráveis devido à combinação de fácil acesso e intensa movimentação de pessoas e veículos. Esses locais facilitam a propagação de incêndios, seja por ações humanas diretas, como a queima de resíduos, seja por fatores externos, como acidentes com veículos. A relação entre incêndios e rodovias reforça a necessidade de ações preventivas mais robustas nessas áreas, que incluam políticas de fiscalização e conscientização direcionadas à população.

As causas antrópicas, como a queima de resíduos e o uso indevido do fogo para atividades cotidianas, como limpezas de áreas, aquecer alimentos por parte de trabalhadores rurais, também contribuíram significativamente para o aumento dos incêndios florestais. Essas

práticas, muitas vezes realizadas sem as devidas precauções, representam um risco constante para as autoridades ambientais.

Este estudo contribui substancialmente para a compreensão das dinâmicas entre atividades humanas e fontes de ignição dos incêndios florestais, fornecendo dados e *insights* valiosos para a formulação de políticas públicas mais eficazes. As conclusões obtidas podem orientar ações voltadas à prevenção de incêndios em áreas vulneráveis, como às margens de rodovias e zonas urbanas e periurbanas, além de incentivar maior controle sobre o uso de fogos de artifício. A ampliação da capacidade investigativa, com o fortalecimento da perícia criminal e a melhoria nos registros de ocorrência, é essencial para reduzir a quantidade de incêndios classificados como de causas indefinidas e para um mapeamento mais preciso das fontes de ignição.

A legislação ambiental, no entanto, ainda não contempla adequadamente os incêndios florestais no perímetro urbano, evidenciando as lacunas na regulamentação atual. A falta de uma legislação eficaz não só dificulta a prevenção, mas também a fiscalização e o controle de incêndios em áreas vulneráveis, como aquelas adjacentes ao perímetro urbano. A pesquisa revelou diversos registros de incêndios em áreas urbanas e periurbanas, com forte correlação com causas antrópicas, o que reforça a necessidade de uma legislação que atenda especificamente a essas áreas.

Por fim, a pesquisa reforça a importância de estratégias de prevenção e controle mais direcionadas e personalizadas, que considerem as especificidades regionais e as práticas locais que contribuem para os incêndios. O enfrentamento desses desafios exige uma abordagem integrada entre as forças de segurança, as políticas públicas e a sociedade, garantindo a proteção do meio ambiente e a mitigação dos impactos ambientais, especialmente na 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.

6 SUGESTÕES A POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS

Sugiro a adoção das seguintes medidas para aprimorar o registro de incêndios florestais e crimes ambientais no âmbito da Polícia Militar de Minas Gerais, visando a melhoria na coleta de dados, capacitação dos militares e fortalecimento das ações preventivas e de resposta a tais eventos. Além disso, a implementação dessas ações contribuirá significativamente para a melhoria das análises estatísticas realizadas pela PMMG, proporcionando uma visão mais precisa e informada das ocorrências.

Primeiramente, é fundamental que o campo "Causa presumida" no Sistema de Registro de Ocorrências seja obrigatório no caso de incêndios florestais e os demais crimes ambientais, para garantir que as causas dos incêndios sejam adequadamente registradas. Esse campo pode ser parametrizado com situações predefinidas, facilitando o preenchimento pelos militares e padronizando as informações, o que contribuirá para uma análise mais precisa. A inclusão deste dado melhora substancialmente a qualidade das análises estatísticas da PMMG sobre as causas dos incêndios e suas tendências ao longo do tempo.

Além disso, deve ser instruída a obrigatoriedade de registrar a área queimada nos registros de incêndios florestais. Em muitos casos, essa informação tem sido negligenciada, o que resultou na ausência dessa variável no estudo em questão, comprometendo a análise sobre a magnitude dos incêndios. Uma possível solução seria a inclusão de um campo específico e parametrizado, voltado exclusivamente para o registro da área afetada para crimes ambientais contra a flora, garantindo que esse dado seja coletado de forma sistemática e uniforme. Essa informação, é relevante para estudos de crimes ambientais contra a flora. A implementação dessa medida permitirá à PMMG realizar análises mais detalhadas sobre o impacto das ocorrências, melhorando a previsão e a resposta a incêndios florestais.

Outrossim, propõe-se implementar treinamentos periódicos sobre o registro de ocorrências de crimes e infrações ambientais para os militares que não atuam diretamente na área ambiental, a fim de garantir que todos os envolvidos na operação estejam bem preparados para realizar os registros corretamente, independentemente da sua especialidade. Essa capacitação permitirá maior conscientização sobre a importância de coletar e registrar dados ambientais de forma precisa e eficiente, assegurando maior consistência e confiabilidade nas informações registradas.

Por fim, sugere-se que o campo "Coordenada geográfica" seja obrigatório nos registros de crimes ambientais. O georreferenciamento dessas ocorrências é crucial para o mapeamento preciso das áreas afetadas, permitindo um monitoramento mais eficaz e direcionado das ações

de mitigação e fiscalização, além de possibilitar uma análise espacial dos dados para suporte ao planejamento estratégico. A adoção dessa medida tornará as análises estatísticas mais robustas, permitindo que a PMMG identifique padrões espaciais e temporais das ocorrências ambientais e, assim, implemente ações mais eficazes.

Essas medidas não apenas aprimorarão a coleta de dados relacionados aos incêndios florestais e crimes ambientais, mas também fortalecerão a capacidade da PMMG de realizar análises estatísticas mais precisas e eficientes. Como resultado, será possível obter um panorama mais claro dos desafios ambientais, o que facilitará a tomada de decisões estratégicas e o planejamento de ações preventivas e corretivas de forma mais direcionada e eficaz.

Este estudo investigou as ocorrências de incêndios florestais na 6ª RPM, com ênfase na importância do registro de dados qualificados, como as causas presumidas e correlações com municípios, dentre outras, para subsidiar ações de planejamento estratégico no combate e prevenção. Além disso, considerando a relevância do policiamento baseado em evidências, busca-se incorporar dados científicos e operacionais na elaboração de estratégias que orientem a gestão ambiental e de defesa civil, bem como a fiscalização preventiva e punitiva desses crimes ambientais.

Inspirado pelos princípios do policiamento baseado em evidências, conforme preconizado pelo norte-americano Lawrence W. Sherman, este trabalho reforça a necessidade de integrar análise estatística, georreferenciamento e práticas baseadas em pesquisa científica às políticas de combate aos incêndios florestais. Desta forma, objetiva-se não apenas compreender os fatores desencadeadores desses eventos, mas também propor soluções mais eficazes e adaptadas à realidade operacional e ambiental da 6ª Região da Polícia Militar de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

- ALMAZROUI, Mansour *et al.* Projected Changes in Climate Extremes Using CMIP6 Simulations Over SREX Regions. **Earth Systems and Environment**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 481–497, Aug. 2021.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [Germany], v. 22, n. 6, p. 711–728, Dec. 2013.
- ALVES, Manuela Alencar da Silva Alves; NÓBREGA, Ranyére Silva. Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 141-150, maio/ago. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17190:2024** – Plano de Proteção Contra Incêndios Florestais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- BADEM, Abdullah. The Effects of Fire in Human Life and in the Cuisine from the Paleolithic to the Modern Age. **Journal of Ecohumanism**, [s.l.], v. 3, n. 6, p. 269–293, Sept. 2024.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BAZENGA, André; GÓIS, José Carlos. Percepção do risco de incêndio em espaços rurais associado à utilização de artigos pirotécnicos. **Territorium**, [Portugal], v. 30, n. 2, p. 25–34, out. 2023.
- BEAUMONT, Peter B. The Edge: More on Fire-Making by about 1.7 Million Years Ago at Wonderwerk Cave in South Africa. **Current Anthropology**, [Chicago], v. 52, n. 4, p. 585–595, Aug. 2011.
- BOWERS, Kate J. Prospective Hot-Spotting: The Future of Crime Mapping?. **British Journal of Criminology**, [Oxford], v. 44, n. 5, p. 641–658, Sept. 2004.
- CARMENTA, Rachel; COUDEL, Emilie; STEWARD, Angela M. Forbidden fire: Does criminalising fire hinder conservation efforts in swidden landscapes of the Brazilian Amazon?. **The Geographical Journal**, [s.l.], v. 185, n. 1, p. 23–37, Mar. 2019.
- CARMO, Dimas Marchi Do; PERALTA, Denilson Fernandes. Survey of bryophytes in Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 254–265, Apr./June 2016.
- CASTRO, Antonio Alberto Jorge Farias. Comparação florística de espécies do cerrado. **Silvicultura**, [s.l.], v. 15, p. 16–18, jan. 1994.
- CHAZAN, Michael. Toward a Long Prehistory of Fire. **Current Anthropology**, v. 58, n. 16, p. 351–359, Aug. 2017.
- DINIZ, Fernanda Rodrigues *et al.* The impact of el niño on fire outbreaks and human thermal discomfort in Brazil in the period between summer of 2014/2015 until the autumn of 2016. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s.l.], v. 42, n. 3, p. 192–201, Jan. 2019.

FIDELIS, Alessandra; PIVELLO, Vânia Regina. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 12–25, dez. 2011.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 405 p.

FONSECA-MORELLO, Thiago *et al.* Fires in brazilian amazon: why does policy have a limited impact?. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 19–38, Oct./Dec. 2017.

FREITAS, Flavio L. M. *et al.* Potential increase of legal deforestation in Brazilian Amazon after Forest Act revision. **Nature Sustainability**, [England], v. 1, n. 11, p. 665–670, Nov. 2018.

GEIRINHAS, João L. *et al.* Recent increasing frequency of compound summer drought and heat waves in Southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, [England], v. 16, n. 3, Feb. 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas SA, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas SA, 2017.

GOMES, Letícia *et al.* Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. **Frontiers in Forests and Global Change**, [Switzerland], v. 3, Nov. 2020.

GOSS, Michael *et al.* Climate change is increasing the likelihood of extreme autumn wildfire conditions across California. **Environmental Research Letters**, [England], v. 15, n. 9, Aug. 2020.

GOWLETT, J. A. J. The discovery of fire by humans: A long and convoluted process. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [England], v. 371, n. 1696, June 2016.

GREENACRE, Michael. Correspondence Analysis in Psychology. *In*: GREENACRE, Michael. **Psychology**. Oxford: Oxford University Press, 2023.

GUERRA, Angélica *et al.* Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, [Netherlands], v. 458, Feb. 2020.

GUTTMAN, Nathaniel B. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. **JAWRA - Journal of the American Water Resources Association**, [United States], v. 35, n. 2, p. 311–322, June 1999.

HESSILT, Thomas D. *et al.* Future increases in lightning ignition efficiency and wildfire occurrence expected from drier fuels in boreal forest ecosystems of western North America. **Environmental Research Letters**, [England], v. 17, n. 5, Apr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa Queimadas**. INPE, 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 14 dez. 2024.

JESUS, Janisson Batista de *et al.* Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas brasileiros. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 302-313, jan./mar. 2018.

JOHNSON, Filip; KJÄRSTAD, Jan; ROOTZÉN, Johan. The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. **Climate Policy**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 258–274, June 2019.

JOLLY, W. Matt *et al.* Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. **Nature Communications**, [England], v. 6, July 2015.

KALA, Chandra Prakash. Environmental and socioeconomic impacts of forest fires: A call for multilateral cooperation and management interventions. **Natural Hazards Research**, [China], v. 3, n. 2, p. 286–294, June 2023.

KARK, Salit; VAN RENSBURG, Berndt J. Ecotones: Marginal or central areas of transition?. **Israel Journal of Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 52, n. 1, p. 29–53, Apr. 2006.

KENT, Martin *et al.* Landscape and plant community boundaries in biogeography. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, [England], v. 21, n. 3, p. 315–353, Sept. 1997.

KOLASA, Jurek; ZALEWSKI, Maciej. Notes on ecotone attributes and functions. **Hydrobiologia**, [Netherlands], v. 303, n. 1–3, p. 1–7, Apr. 1995.

KUMAR, Gajendra *et al.* Ecological impacts of forest fire on composition and structure of tropical deciduous forests of central India. **Physics and Chemistry of the Earth**, [England], v. 128, Dec. 2022.

LIBONATI, Renata *et al.* Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, [England], v. 17, n. 1, Jan. 2022.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal**, [United States], v. 69, n. 5, p. 828–831, Sept./Oct. 1977.

MAILLARD, Oswaldo *et al.* Relationship of forest cover fragmentation and drought with the occurrence of forest fires in the department of Santa Cruz, Bolivia. **Forests**, [Switzerland], v. 11, n. 9, Aug. 2020.

MANSOOR, Sheikh *et al.* Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change. **Journal of Environmental Management**, [England], v. 301, Jan. 2022.

MARQUES, Juliana Fazolo *et al.* Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change. **Journal of Environmental Management**, [England], v. 299, Dec. 2021.

MENEZES, Lucas S. *et al.* Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. **Science of the Total Environment**, [Netherlands], v. 820, May 2022.

MIKHAYLOV, Alexey *et al.* Global climate change and greenhouse effect. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, [Lithuania], v. 7, n. 4, p. 2897–2913, June 2020.

MILLER, Matthieu B. *et al.* Atmospheric reactive mercury concentrations in coastal Australia and the Southern Ocean. **Science of The Total Environment**, [Netherlands], v. 751, Jan. 2021.

MITTERMEIER, Russell A. *et al.* **Hotspots revisited**: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Washington D.C.: Conservation International, 2004. 392 p.

MORELLATO, L. Patricia C.; HADDAD, Célio F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, [United States], v. 32, n. 4b, p. 786–792, Dec. 2000.

MOURA, Aloysio Souza de *et al.* Comunidade de aves em campos rupestres de um ecótono da Mata Atlântica Cerrado. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 1-13, jun. 2021.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [England], v. 403, n. 6772, p. 853–858, Feb. 2000.

NIMMO, Dale G. *et al.* Fire ecology for the 21st century: Conserving biodiversity in the age of megafire. **Diversity and Distributions**, [England], v. 28, n. 3, p. 350–356, Feb. 2022.

NOBRE, Carlos A. *et al.* Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 252–262, Feb. 2016.

NUNES, José Renato Soares *et al.* Desempenho da fórmula de monte alegre (fma) e da fórmula de monte alegre alterada (fma +) no distrito florestal de Monte Alegre. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 319-326, abr./jun. 2010.

NUNES, José Renato Soares; SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antônio Carlos. Ajuste da fórmula de monte alegre alterada (fma+) para o estado do paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 1-14, maio de 2006.

OLIVEIRA, Leonardo Debossan; ASSIS, Wellington Lopes. Perspectives on integrated fire management in Brazilian public policies. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 99, July 2020.

OLIVEIRA, Ubirajara *et al.* Determinants of fire impact in the Brazilian Biomes. **Frontiers in Forests and Global Change**, [Switzerland], v. 5, Mar. 2022.

OLIVEIRA FILHO, Ary T. *et al.* Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 291–309, abr./jun. 2004.

OZAWA, Mamoru; ASANO, Hitoshi. Introduction to boilers. *In: Advances in power boilers*. 1st ed. São Paulo: Elsevier, 2021. p. 57–106.

PENMAN, Howard Latimer. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A - Mathematical and Physical and Engineering Sciences**, [London], v. 193, n. 1032, p. 120–145, Apr. 1948.

PEREIRA, Allan Arantes *et al.* Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 445-455, dez. 2012.

PEREIRA, G. F.; LIMA, E. R.; PEREZ, P. H. Modelagem de risco de incêndios florestais na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 213-222, jan. 2013.

PINHEIRO, Marcelo Henrique Ongaro. Formações savânicas mundiais: uma breve descrição fitogeográfica. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, [Ituiutaba], v. 1, n. 2, p. 306–313, dez. 2010.

POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS. **Imagens aéreas feitas pelo Drone GpMamb da Polícia Militar de Minas Gerais, da área de Preservação Ambiental nos bairros Jardim Europa e Vila Barbosa na cidade de Campo Belo/MG**. PMMG, 2024.

RABIN, S. S. *et al.* Quantifying regional, time-varying effects of cropland and pasture on vegetation fire. **Biogeosciences**, [Germany], v. 12, n. 22, p. 6591–6604, Nov. 2015.

RATCLIFFE, J. H.; MCCULLAGH, M. J. Hotbeds of crime and the search for spatial accuracy. **Journal of Geographical Systems**, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 385–398, Dec. 1999.

RIANI, Marco *et al.* Robust Correspondence Analysis. **Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics**, [England], v. 71, n. 5, p. 1381–1401, July 2022.

RIBEIRO, Andreia F. S. *et al.* A compound event-oriented framework to tropical fire risk assessment in a changing climate. **Environmental Research Letters**, [England], v. 17, n. 6, June 2022.

RIBEIRO, Milton Cezar *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: A shrinking biodiversity hotspot. *In: Biodiversity hotspots*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 405–434.

RIBEIRO, Milton Cezar *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [England], v. 142, n. 6, p. 1141–1153, June 2009.

RODRIGUES, Carolina Costa *et al.* Histórico de incêndios em campos rupestres disjuntos: um estudo de caso em Carrancas, Minas Gerais. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, Brasília, v. 12, n. 2, abr. 2022.

RODRIGUES, Julia Abrantes *et al.* Burned area mapping on conservation units of mountains region of Rio de Janeiro using landsat-8 data during the 2014 drought. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 1, p. 318–327, May 2018.

RODRÍGUEZ, Marcos Pedro Ramos *et al.* Comparação entre o perfil dos incêndios florestais de Monte Alegre, Brasil, e de Pinar del Río, Cuba. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 231-240, abr./jun. 2013.

ROSA, Gilmar OLIVEIRA, Paulo Tiego Gomes de. Preservação da memória documental: a criação do REDS como instrumento de defesa social e integração institucional em Minas Gerais. **REBESP**, [Goiânia], v. 7, p. 31–39, out. 2014.

SHIMABUKURO, Yosio Edemir *et al.* Assessment of burned areas during the pantanal fire crisis in 2020 using sentinel-2 images. **Fire**, [Switzerland], v. 6, n. 7, July 2023.

SILVA, Leovandes Soares Da *et al.* After-fire variations in floristic composition at the Cerrado (*Brazilian Savannah*) phytophysognomies in Curvelo, Minas Gerais, Brazil. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 27, n. 3, Jan. 2020.

SILVA, N. R. da; SOUSA, P. C. de; SILVA, R. P. da. Análise do impacto das atividades humanas nas áreas protegidas e a incidência de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 100-110, jan./mar. 2018.

SINCLAIR, Thomas R. Natural evaporation from open water, bare soil and grass” by Harold L. Penman, Proceedings of the Royal Society of London (1948) A193:120–146. **Crop Science**, [United States], v. 59, n. 6, p. 2297–2299, Nov. 2019.

SINGH, Swati. Forest fire emissions: A contribution to global climate change. **Frontiers in Forests and Global Change**, [Switzerland], v. 5, Nov. 2022.

SISTEMA INTEGRADO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Registro de Evento de Defesa Social**. SISP, 2024. Disponível em: <https://search.app/iH5uK2woPXdjbuKc8>. Acesso em: 14 dez. 2024.

TABARELLI, Marcelo *et al.* Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 132–138, jul. 2005.

TABARELLI, Marcelo *et al.* Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, [England], v. 143, n. 10, p. 2328–2340, Oct. 2010.

TYUKAVINA, Alexandra *et al.* Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. **Frontiers in Remote Sensing**, [Switzerland], v. 3, Mar. 2022.

WANG, Sanmin. An E-sequence approach to the $3x + 1$ problem. **Symmetry**, [Basel], v. 11, n. 11, p. 1415, Nov. 2019.

WANG, Zhe *et al.* Severe global environmental issues caused by Canada’s record-breaking wildfires in 2023. **Advances in Atmospheric Sciences**, [China], v. 41, n. 4, p. 565–571, Jan. 2024.

- WARD, J. V. *et al.* Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. **Regulated Rivers: Research & Management**, [s.l.], v. 15, n. 1-3, p. 125-139, Jan./June 1999.
- WILSON, Nicholas; YEBRA, Marta. The Role of Climate in Ignition Frequency. **Fire**, [Switzerland], v. 6, n. 5, May 2023.
- YAKAR, Güllü. An alternative method and display for content analysis: textual visualization. **Online Journal of Communication and Media Technologies**, [s.l.], v. 7, p. 14–21, Dec. 2017.
- ZANZARINI, Vagner; ANDERSEN, Alan N.; FIDELIS, Alessandra. Flammability in tropical savannas: Variation among growth forms and seasons in Cerrado. **Biotropica**, [United States], v. 54, n. 4, p. 979–987, June 2022.
- ZHANG, Zhejia *et al.* A forest fire prediction method for lightning stroke based on remote sensing data. **Forests**, [Switzerland], v. 15, n. 5, May 2024.
- ZHOU, Jonathan *et al.* **Crime hot-spot modeling via topic modeling and relative density estimation**. ArXiv, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2202.04176>. Acesso em: 3 dez. 2024.

ANEXO

ANEXO A – Termo de anuência PMMG



**POLÍCIA
MILITAR**
DE MINAS GERAIS

ACADEMIA DE POLÍCIA MILITAR
CENTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Termo de Anuência

Eu Francis Albert Cotta, Major da Polícia Militar de Minas, na função de Chefe da Seção de Pesquisa e Extensão, por delegação da autoridade competente, certifico que foi autorizado pelo Comando da Polícia Militar de Minas Gerais, de acordo com o Protocolo n.º 202405084819342-2405, a realização da pesquisa intitulada "Fontes de ignição dos incêndios florestais na área da 6ª região da Polícia Militar de Minas Gerais: subsídio para o planejamento e fiscalização ambiental" a ser conduzida sob responsabilidade do pesquisador Leandro Carvalho Vieira, mestrando em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Lavras. Declaro que esta instituição apresenta as condições necessárias à realização da referida pesquisa. Este termo é válido apenas no caso de haver parecer favorável do Comitê de Ética avaliador do estudo.

Belo Horizonte, 04 de junho de 2024.



documento assinado digitalmente
FRANCIS ALBERT COTTA FORMIGA
DATA: 04/06/2024 15:26:49-0100
verificar em: <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Francis Albert Cotta, Major PM
Chefe da Seção de Pesquisa e Extensão