

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIELA SARAIVA MARTINS

**DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE CALOR NO TRIÂNGULO MINEIRO COM
ÊNFASE EM ÁREAS DE PRODUÇÃO SILVICULTURAL**

MONTE CARMELO

2024

GABRIELA SARAIVA MARTINS

**DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE CALOR NO TRIÂNGULO MINEIRO COM
ÊNFASE EM ÁREAS DE PRODUÇÃO SILVICULTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França

MONTE CARMELO

2024

GABRIELA SARAIVA MARTINS

**DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE CALOR NO TRIÂNGULO MINEIRO COM
ÊNFASE EM ÁREAS DE PRODUÇÃO SILVICULTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 13 de novembro de 2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França
Orientador (UFU)

Eng. Florestal Anna Caroline Costa Fanalli
Membro da Banca (UFU)

Prof. Dr. Vicente Toledo Machado de Moraes Junior
Membro da Banca (UFU)

MONTE CARMELO

2024

Dedico este trabalho à comunidade de Engenharia Florestal, pela contribuição incansável à ciência e à preservação de nossos recursos naturais. E, em especial, a todos os profissionais e voluntários que, com bravura e dedicação, estão na linha de frente combatendo os incêndios que assolam o Brasil em 2024, lutando pela proteção de nossas florestas e pela manutenção da vida. Que seu esforço e compromisso inspirem futuras gerações na busca por um mundo mais sustentável e resiliente.

AGRADECIMENTOS

Hoje, estou me tornando a pessoa que sempre desejei ser, e o meu maior agradecimento vai para minha mãe, que fez tantos sacrifícios para tornar este sonho realidade. Esta formatura é, de certa forma, sua também. Agradeço por todo o amor que me deu ao longo da vida e por ter moldado a pessoa que sou hoje.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos, tia Dorinha, tia Viviane, ao meu padrasto Neirton e tio Lécio. Não poderia deixar de lembrar da Tia Chris, que hoje não está mais entre nós, mas viverá para sempre em meu coração. Sem vocês, essa vitória não teria sido possível. Muito obrigada por todo o apoio, carinho e incentivo. Amo todos vocês!

Agradeço à comunidade acadêmica da Universidade Federal de Uberlândia, aos professores do curso de Engenharia Florestal, em especial ao meu orientador Luciano Cavalcante de Jesus França, e aos membros da banca, pelo apoio, ensinamentos e contribuições valiosas para este trabalho.

“Um dia, o calor humano ainda vencerá o aquecimento global...”
Max Rocha

RESUMO

Os incêndios florestais têm tornados frequentes e relevantes, especialmente diante da intensificação da emergência climática. Esses eventos são responsáveis por grande parte da perda de ecossistemas naturais, superando outras causas de impacto ambiental. Este estudo analisou a ocorrência de focos de calor na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e em áreas próximas a povoados de florestas de produção, entre os anos de 2019 e 2024. Para isso, foram utilizados registros dos satélites GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M e Aqua_M-T, obtidos no Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas – INPE). As análises geoespaciais foram realizadas no ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG), empregando o estimador de densidade de Kernel para gerar mapas de densidade relativa. Estas foram escalonadas em cinco classes: (i) muito baixa, (ii) baixa, (iii) moderada, (iv) alta e (v) muito alta. Os resultados indicaram oscilações na concentração de focos de calor ao longo dos anos avaliados. Observe-se uma menor quantidade de focos nos anos intermediários (2022 e 2023). Entretanto, os outros anos apresentaram altas concentrações, sendo 2021 o ano com maior número de registros, totalizando 45.638 focos. A análise de dados pluviométricos demonstrou uma relação direta entre os períodos de maior ocorrência de incêndios e as condições climáticas, com destaque para a maior frequência de eventos durante a estação seca. Além disso, constatou-se uma elevada incidência de focos de calor em áreas de cultivos florestais comerciais e seus ambientes. Este cenário reforça a necessidade de intensificar as práticas de manejo e combate ao fogo em áreas produtivas, promover o monitoramento contínuo dos focos de calor e implementar estratégias de manejo da paisagem. Além disso, é fundamental sensibilizar a população sobre a importância da prevenção de incêndios rurais e florestais para minimizar os danos socioambientais.

Palavras-chave: incêndios florestais, manejo de ecossistemas, método de *Kernel*, geotecnologias, ordenamento territorial.

ABSTRACT

Forest fires have become frequent and relevant, especially in view of the intensification of the climate emergency. These events are responsible for a large part of the loss of natural ecosystems, surpassing other causes of environmental impact. This study analyzed the occurrence of hotspots in the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba region and in areas close to production forest stands, between 2019 and 2024. For this, records from the GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M and Aqua_M-T satellites, obtained from the Burning Database (BDQueimadas - INPE), were used. Geospatial analyses were performed in the Geographic Information System (GIS) environment, using the Kernel density estimator to generate relative density maps. These were scaled into five classes: (i) very low, (ii) low, (iii) moderate, (iv) high and (v) very high. The results indicated fluctuations in the concentration of hotspots throughout the years evaluated. A smaller number of hotspots were observed in the intermediate years (2022 and 2023). However, the other years presented high concentrations, with 2021 being the year with the highest number of records, totaling 45,638 hotspots. The analysis of rainfall data demonstrated a direct relationship between the periods of greatest occurrence of fires and the climatic conditions, with emphasis on the greater frequency of events during the dry season. In addition, a high incidence of hotspots was found in areas of commercial forestry crops and their environments. This scenario reinforces the need to intensify fire management and fighting practices in productive areas, promote continuous monitoring of hotspots, and implement landscape management strategies. In addition, it is essential to raise awareness among the population about the importance of preventing rural and forest fires to minimize socio-environmental damage.

Key words: wildfires, ecosystem management, *Kernel* method, geotechnologies, land use planning

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Área de estudo.....	13
3.1.1 Caracterização da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.....	13
3.1.2 Caracterização da área de cultivo de eucalipto.....	14
3.2 Banco de dados e procedimentos metodológicos.....	15
3.3 PRINCIPAIS CAUSAS DE INCÊNDIO.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Dinâmica dos focos de calor no Triângulo Mineiro.....	18
4.2 Dinâmica dos focos de calor nos empreendimentos silviculturais.....	24
4.2.1. Principais causas dos incêndios na área de estudo.....	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	37
APÊNDICE 1: OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NAS MESORREGIÕES DO TRIÂNGULO MINEIRO.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são um problema ambiental de grande escala, que afeta diversas regiões do mundo, causando sérios danos à biodiversidade, à saúde humana e à economia global. Além de devastarem grandes áreas naturais, eles impactam os níveis de qualidade do ar, aumentam a emissão de gases de efeito estufa e colocam em risco a vida de inúmeras espécies e populações humanas, especialmente em áreas rurais e regiões de alto risco (Souza, 2009).

A sanção da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (Lei nº 14.944, de 31 julho de 2024) representa um marco importante para o debate sobre os incêndios florestais no Brasil. Essa legislação, alinhada com as diretrizes do presente estudo, estabelece um marco legal para o manejo do fogo no país, promovendo a articulação entre diferentes setores e incentivando práticas mais sustentáveis. A nova política destaca a importância do planejamento, da prevenção e do combate aos incêndios florestais, além de reconhecer o papel ecológico do fogo em alguns ecossistemas e o direito ao uso tradicional do fogo por comunidades tradicionais (Brasil, 2024),

No Brasil, os incêndios florestais ocorreram com frequência alarmante, com episódios de megaincêndios que destruíram milhões de hectares, afetando principalmente biomas como a Amazônia e o Cerrado (Souza, 2009).

Entre os setores mais prejudicados pelos incêndios florestais estão a agricultura e a silvicultura. No caso específico da silvicultura, os danos vão além das perdas econômicas diretas, envolvendo também impactos ambientais, como a manipulação do solo e a perda de serviços ecossistêmicos. Em 2024, o Brasil sofreu uma temporada particularmente grave de incêndios, com as áreas de silvicultura sendo significativamente afetadas, principalmente em plantações de eucalipto e pinus. As empresas de base florestal intensificaram os esforços de monitoramento e gestão dos focos de calor para mitigar os impactos dos incêndios e melhorar a resiliência das florestas plantadas (Conceição, 2023).

Focos de calor são indicadores importantes para o monitoramento de incêndios florestais, consistindo em pontos de radiação térmica detectados por sensores de satélites, que identificam temperaturas anormalmente altas na superfície terrestre. Esses pontos, geralmente associados à presença de fogo, são fundamentais para a detecção precoce e o acompanhamento da dinâmica dos incêndios, permitindo uma melhor gestão do risco e das estratégias de combate ao fogo (Oliveira, 2019). No entanto, os focos de calor não representam, necessariamente, uma

área eficaz queimada, mas sim uma indicação de possíveis locais onde o fogo está presente, o que destaca a necessidade de técnicas de monitoramento e interpretação desses dados.

No contexto do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, localizado no bioma Cerrado, a incidência de focos de calor tem sido uma preocupação crescente. A região é caracterizada por um clima tropical de altitude, com períodos secos que favorecem a ocorrência e a propagação de incêndios florestais. Durante a estação seca, a vegetação perde umidade, tornando-se altamente suscetível ao fogo, especialmente em áreas adjacentes a povoamentos de silvicultura. Essa combinação de fatores climáticos e a prática de queimadas controladas que, muitas vezes, saem do controle, tornam o monitoramento dos focos de calor uma ferramenta essencial para a prevenção de grandes incêndios (Nascimento e Novais, 2020).

Em 2022, no Brasil, o setor de silvicultura registrou um valor de R\$ 27,4 bilhões, representando um crescimento de 14,9% em comparação ao ano anterior. O valor total da produção florestal no país atingiu o recorde de R\$ 33,7 bilhões, com uma alta de 11,9% em relação a 2021, abrangendo 4.884 municípios (IBGE, 2023).

O valor da produção da silvicultura (florestas plantadas) apresentou um crescimento expressivo de 14,9%, enquanto a exclusão vegetal registrou um aumento mais tímido, de 0,2%, totalizando R\$ 6,2 bilhões em 2022 (IBGE, 2023).

Em Minas Gerais, particularmente na região do Triângulo Mineiro, a produção de madeira tem ganhado destaque devido ao aumento da silvicultura. A instalação de uma fábrica de celulose em Araguari, que usa eucalipto como matéria-prima, favorece este crescimento, beneficiando principalmente a indústria de celulose e o setor metalúrgico (IBGE, 2023). A fabricação de madeira serrada passa por fases vitais, como o plantio de árvores, a colheita e o processamento mecânico. A extração de madeira é feita em florestas monitoradas para prevenir o desmatamento em excesso. Esta expansão na silvicultura evidencia a importância cada vez maior das florestas plantadas, com o eucalipto ocupando 77,3% da área total destinada à silvicultura. O setor tem uma história consolidada na região, com o cultivo de eucalipto e pinus ganhando força desde a década de 1960. No entanto, a proximidade dessas áreas florestais com pastagens e culturas agrícolas aumenta a vulnerabilidade ao fogo, o que exige medidas efetivas de prevenção e prevenção combate (Franco, 2020).

Diante do aumento das ocorrências de incêndios florestais nos últimos anos e do impacto significativo sobre as áreas de silvicultura no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, este estudo realizou uma análise espaço-temporal dos focos de calor na região, abrangendo o período de 2019 a 2024.

O objetivo principal é fornecer indicadores e subsídios para o desenvolvimento de estratégias de prevenção, controle e combate a incêndios florestais. Essas estratégias visam não apenas preservar os ecossistemas naturais, mas também proteger as áreas de produção florestal e fortalecer a economia local, altamente dependente das atividades de silvicultura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar um diagnóstico dos focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e em áreas adjacentes à silvicultura entre os anos de 2019 e 2024, para identificar os principais fatores de risco e reforçar medidas eficazes de prevenção e controle de incêndios.

2.2 Objetivos específicos

- Mapear a localização e a frequência dos focos de calor nas áreas adjacentes à sítios de povoamentos de eucalipto no Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba.
- Analisar as condições climáticas (Pluviosidade média) que contribuem para o surgimento e a propagação dos focos de calor.
- Avaliar o impacto dos focos de calor nas áreas de silvicultura e nas plantações de eucalipto e pinus.
- Identificar as ferramentas e tecnologias de monitoramento mais eficazes para a detecção precoce e o controle dos incêndios.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Caracterização da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba

A mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, localizada em Minas Gerais, destaca-se tanto pela sua relevância econômica quanto ecológica, abrangendo municípios com forte atividade agrícola e grande diversidade de recursos naturais (Machado *et al.*, 2024). O clima predominante é o tropical, com estações bem definidas: um período chuvoso entre novembro e março e uma estação seca durante o inverno. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta o tipo Aw, caracterizada por um clima tropical com estação seca (Alvares *et al.*, 2013). A média anual gira em torno de 1.500 mm, variando conforme a localização das fazendas, ou que fornece condições adequadas para o desenvolvimento de atividades agroflorestais, como a silvicultura.

A geografia e o clima da região favorecem a produção de diversas culturas vegetais. A região é especialmente notável pela produção de grãos, leiteira peculiar e cultivo de eucalipto, que é amplamente utilizado pela indústria de papel e celulose, conhecido pela sua rápida taxa de crescimento e adaptabilidade a diferentes tipos de solo (Franco, 2020). A predominância de latossolos e argissolos, que cobrem grande parte do território, torna o manejo adequado essencial para garantir a sustentabilidade do planejamento e maximizar a produtividade agrícola.

A área possui um clima tropical, com estações claramente delineadas, com a estação seca prevalecendo nos meses de inverno e a estação de chuvas ocorrendo entre os meses de novembro e março (Alvares *et al.*, 2013). Na região, a maior parte dos solos é do tipo latossolo e argissolo, que, se corretamente manejados, podem proporcionar um ambiente favorável para o plantio de eucalipto.

A mesorregião está localizada no sudoeste do estado de Minas Gerais, composta por municípios como Uberlândia, Uberaba, Patos de Minas, Ituiutaba, Frutal e Araxá. É uma das mais relevantes do estado em termos econômicos, com um Produto Interno Bruto (PIB) expressivo, impulsionado pelos setores agropecuário, industrial, e de serviços. Destacam-se atividades como a produção agrícola (especial de grãos, café e cana), a peculiar leiteira e de

corte, a mineração de fosfato e nióbio, e o crescente setor de silvicultura, que engloba o cultivo de florestas plantadas para celulose e carvão vegetal.

3.1.2 Caracterização da área de cultivo de eucalipto

Este estudo focou-se na avaliação de um grupo de propriedades rurais externas para o cultivo de eucalipto, localizadas na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A análise abrange áreas próximas à silvicultura, cujas colheitas são destinadas comercialmente à empresa Dexco S.A. Para preservar a confidencialidade das localizações específicas das fazendas, optou-se por não revelar os nomes dos municípios. No entanto, as propriedades estão distribuídas em diferentes áreas dentro da mesorregião, cobrindo zonas com relevância significativa para a produção de eucalipto e a comercialização associada à silvicultura na região.

As fazendas têm como meta a produção de madeira de alta qualidade, empregando práticas de administração sustentável para minimizar os impactos negativos no ambiente. A escolha do eucalipto é estratégica, levando em conta as exigências do mercado, a habilidade da planta de se ajustar ao solo local e a habilidade de crescimento.

O mapa apresentado na Figura 1 permite visualizar a distribuição das áreas de cultivo de eucalipto na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, em Minas Gerais.

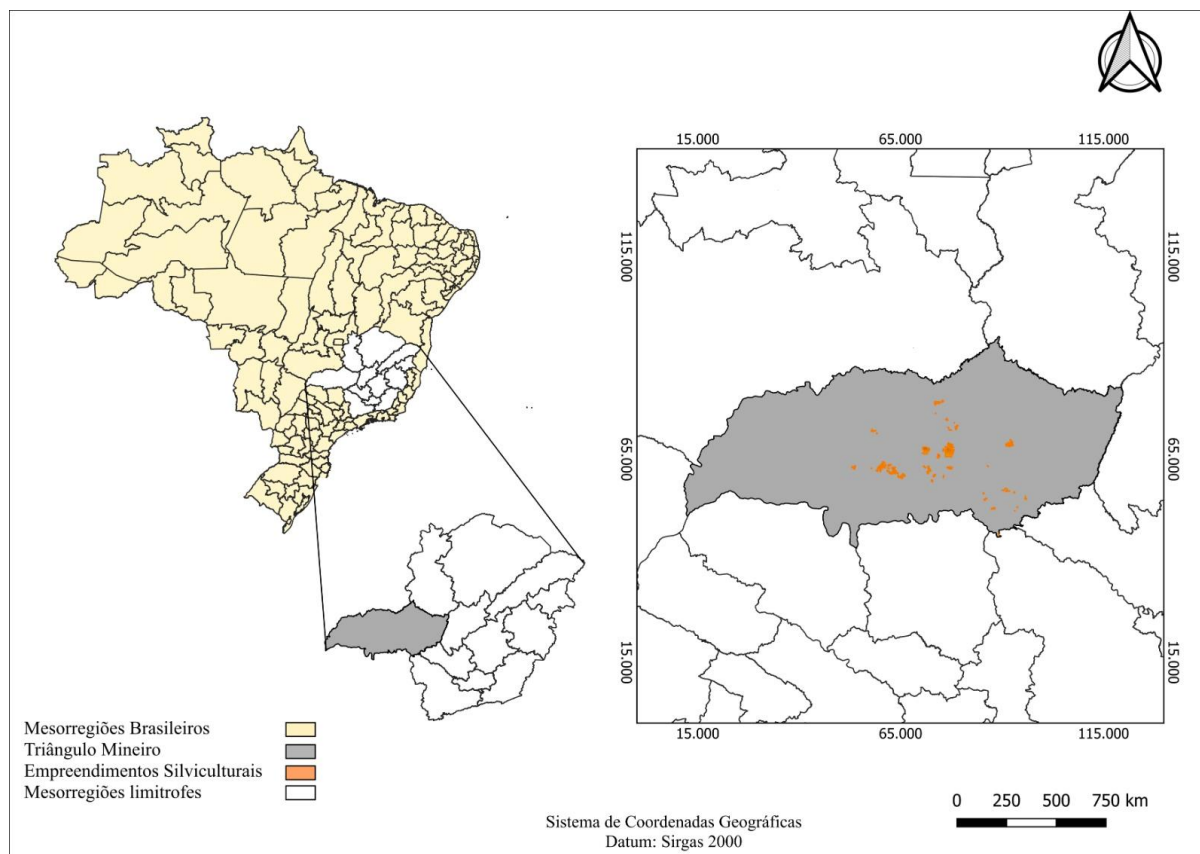


Figura 1. Mapa de localização da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e; localização das fazendas de cultivo de eucalipto.

3.2 BANCO DE DADOS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A análise dos focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foi realizada utilizando dados obtidos do BDQueimadas, uma base de dados especializada no monitoramento de queimadas no Brasil. Os registros dos focos de calor foram obtidos a partir de imagens capturadas pelos satélites GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M e Aqua_M-T, considerados "satélites de referência" no monitoramento de queimadas. O período de aquisição dos dados abrangeu de janeiro de 2019 a setembro de 2024, com registros captados minuto a minuto, oferecendo uma cobertura específica e contínua dos eventos de queimadas na região.

Para garantir a precisão e rastreabilidade da análise, foram consideradas restrições específicas para cada satélite, incluindo a resolução espacial e temporal, além das ferramentas de detecção de focos de calor disponíveis na plataforma BDQueimadas.

Os dados foram adquiridos baseados em parâmetros focados especificamente na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e, utilizando-se a técnica de Estimativa de Densidade de

Kernel (KDE) com auxílio do software QGIS (versão 3.38 Grenoble), com configurações ajustadas para um raio de 2000 metros e pixel de 500 metros, o que obteve uma visualização adequada dos padrões de calor, após testes de adequação de acordo com premissas da literatura. A escolha do sistema de coordenadas Sirgas 2000, 22 Sul, facilitou o processamento dos dados em coordenadas planas (metros), permitindo uma análise mais precisa (Rocha & Guntzel, 2022).

A técnica do KDE, desenvolvida inicialmente por Rosenblatt (1956) e Parzen (1962), é uma ferramenta estatística usada para estimar a densidade de probabilidade de um conjunto de dados. Ela utiliza uma função de suavização para transformar pontos discretos em uma superfície contínua, o que possibilita a identificação de áreas com alta e baixa concentração de focos de calor. A solução para a estimativa de densidade do Kernel é dada pela equação 1 para a estimativa de densidade de Kernel:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

Onde:

$f^{\wedge}(x)$ é a estimativa da densidade em um ponto x ; n é o número total de pontos (focos de calor); h é o parâmetro de largura de banda (bandwidth), que controla o grau de suavização da estimativa; K é a função kernel, que determina a forma de suavização aplicada aos pontos. A função mais comum é a Gaussian, mas outras funções como a Epanechnikov e a Uniform também podem ser utilizadas.

Os polígonos das fazendas com cultivo de eucalipto foram incorporados ao mapa, criando áreas tampão de 5 km (*Buffer*) a partir dos centroides das respectivas fazendas, de modo a identificar as condições de risco de incêndios dentro e no entorno dos empreendimentos silviculturais. Quando as fazendas estavam próximas (sobrepostas) (menos de 5 km), a ferramenta “dissolver” foi usada para unir os *buffers*, evitando sobreposição topológica excessiva e facilitando a análise espacial.

Para calcular a ocorrência mensal de focos de calor, os dados foram extraídos das tabelas de atributos dos dados geográficos para o Excel, onde a contagem foi realizada mensalmente. Posteriormente, o *raster* de densidade foi reclassificado em categorias de intensidade (muito

baixa, baixa, média, alta e muito alta) para transformar os dados em uma representação vetorial de polígonos.

As informações sobre o local de origem, causa apurada e a área afetada são coletadas por meio de um aplicativo, que contém um formulário denominado "Relatório de Ocorrência de Incêndios". Esse formulário permite o registro dos dados necessários para a geração do relatório de cada ocorrência. Qualquer pessoa presente no local, desde que tenha o aplicativo instalado em seu celular, consegue registrar o acontecimento.

Na Tabela 1 são apresentadas as classes de concentração de focos de calor, suas respectivas descrições e o grau de severidade associado à cada categoria, nomeadamente a faixa de intensidade do fogo.

Tabela 1. Concentrações dos focos de calor e sua susceptividade à severidade de incêndios florestais. Elaboração: Os autores (2024)

Classes	Descrição	Grau de Severidade
Muito Baixa	A mais baixa classificação de densidade de focos de calor. Representa pouca ou nenhuma atividade de queimadas na área.	Baixa
Baixa	Densidade baixa de focos de calor. Representa potenciais ocorrências de fogo moderado e controlado.	Moderada
Média	Densidade moderada de focos de calor. Representa zona de risco crescente de incêndios, com ocorrências de focos de incêndios mais frequentes.	Alta
Alta	Alta densidade de focos de calor. Representa risco significativo de incêndios graves.	Muito Alta
Muito Alta	Densidade muito alta de focos de calor. Representa os incêndios intensos e de rápida propagação.	Extrema

Os mapas gerados a partir dessa análise servem como base para identificar regiões críticas e auxiliar na elaboração de estratégias de prevenção e combate a incêndios florestais, além de subsidiar a recuperação de áreas afetadas (Rocha e Guntzel, 2022).

Os dados de ocorrências utilizados neste estudo foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com base em informações pluviométricas registradas nas

regiões de Uberlândia, Uberaba e Araxá, localizadas no Triângulo Mineiro, Minas Gerais. A aquisição de dados abrange uma série histórica de médias mensais, considerando o período dos últimos dez anos, fornecendo uma base confiável para a análise das variações climáticas e suas possíveis influências na ocorrência de incêndios na região.

3.3 PRINCIPAIS CAUSAS DE INCÊNDIO

Este estudo analisa a ocorrência de focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba entre os anos de 2019 e 2024, com base em registros dos satélites GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M e Aqua_M-T, obtido junto ao Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas – INPE). As análises foram realizadas no ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o estimador de densidade de Kernel para gerar mapas de densidade relativa, escalonados nas classes: (i) muito baixa, (ii) baixa, (iii) moderada, (iv) alta e (v) muito alta.

Além disso, o estudo incluiu a identificação das principais causas dos incêndios na área de estudo, com base em registros históricos e literatura disponível. Entre as causas mais comuns estão:

- Práticas agropecuárias, como o uso do fogo para limpeza de áreas.
- Condições climáticas extremas, especialmente durante a estação seca, caracterizadas por altas temperaturas e baixa umidade relativa.
- Incêndios acidentais, frequentemente relacionados ao descarte inadequado de resíduos, como garrafas de vidro.
- Incêndios infratores, associados à invasão de áreas florestais ou disputas por terras.
- Crimes florestais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DINÂMICA DOS FOCOS DE CALOR NO TRIÂNGULO MINEIRO

Na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial dos focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com base nos dados levantados para os anos entre 2019 e

2024. A densidade dos focos de calor está representada em diferentes graduações de cor, apresentando variações na intensidade das ocorrências.

Constatou-se uma concentração mais alta de focos nos anos de 2020 e 2021, sobretudo nas porções centro, centro sul e leste da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, especialmente em áreas próximas aos povoamentos de eucalipto e regiões historicamente associadas ao pastoreio animal, que são mais suscetíveis devido à vegetação seca durante os períodos de estiagem. Essa maior densidade reflete as condições climáticas adversas e possivelmente o manejo inadequado de queimadas na região, que podem ter fugido ao controle, assim como a possibilidade de incêndios dolosos, quando há a intenção deliberada em provocá-lo.

Em contrapartida, algumas áreas apresentam densidade de focos mais baixas, evidenciando uma menor incidência de incêndios ou uma maior efetividade das medidas de prevenção de avanços. A análise espacial permite identificar as regiões mais críticas para a gestão de incêndios, sendo necessário focar em estratégias de prevenção e controle nos locais mais críticos para evitar a propagação de focos de incêndios.

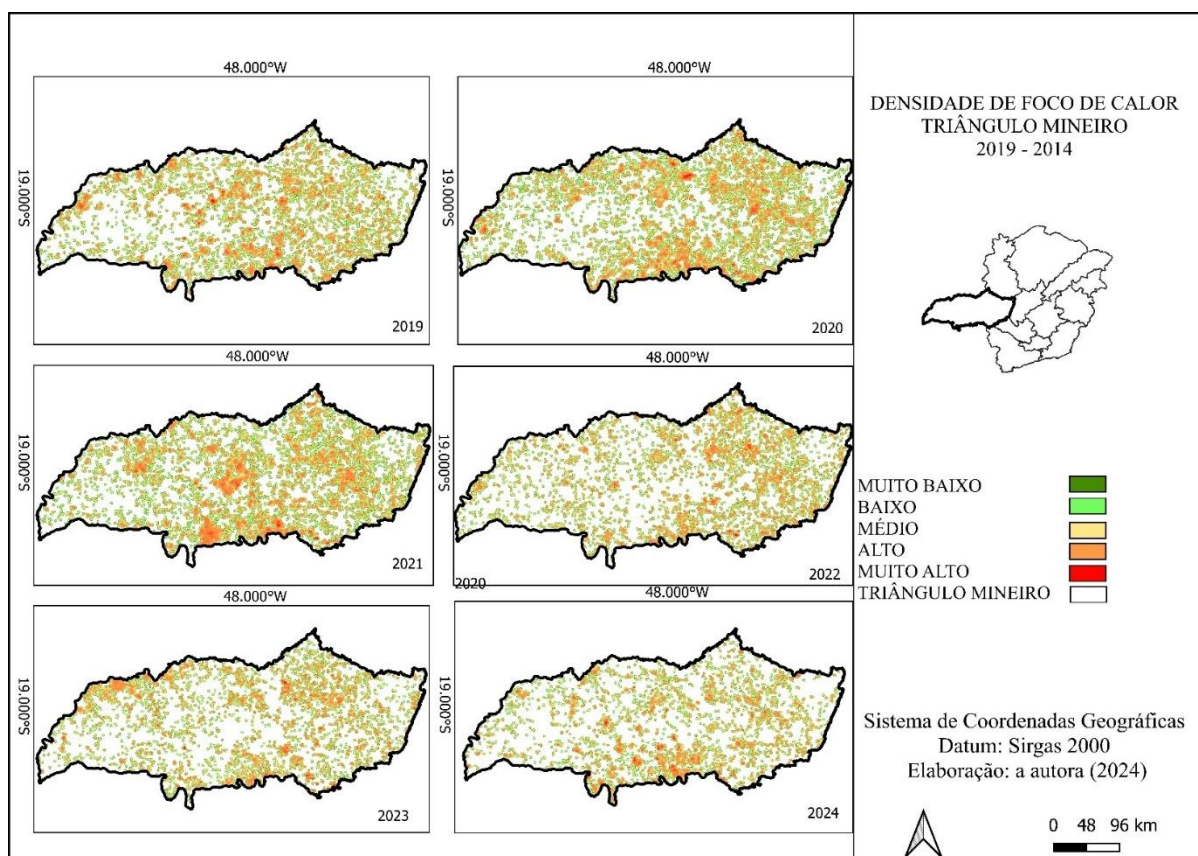


Figura 2 - Densidade de foco de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba de 2019 até 2024.

Os gráficos de precipitação mensais (Figuras 3 a 8) confirmam uma proporção entre a os menores valores pluviométricos em determinadas épocas do ano e o aumento dos focos de calor. Em 2020 e 2021, os anos com menor índice pluviométrico, registrou-se um aumento nos focos de calor, especialmente nos meses de agosto e setembro. Durante esses meses, a ausência de chuvas, como demonstrado pela Figura 4 e 5, favoreceu a propagação de incêndios florestais, com mais de 21 mil focos registrados em setembro de 2021 (Tabela 2). Esses dados evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo, especialmente durante a estação seca, para prevenir incêndios em larga escala.

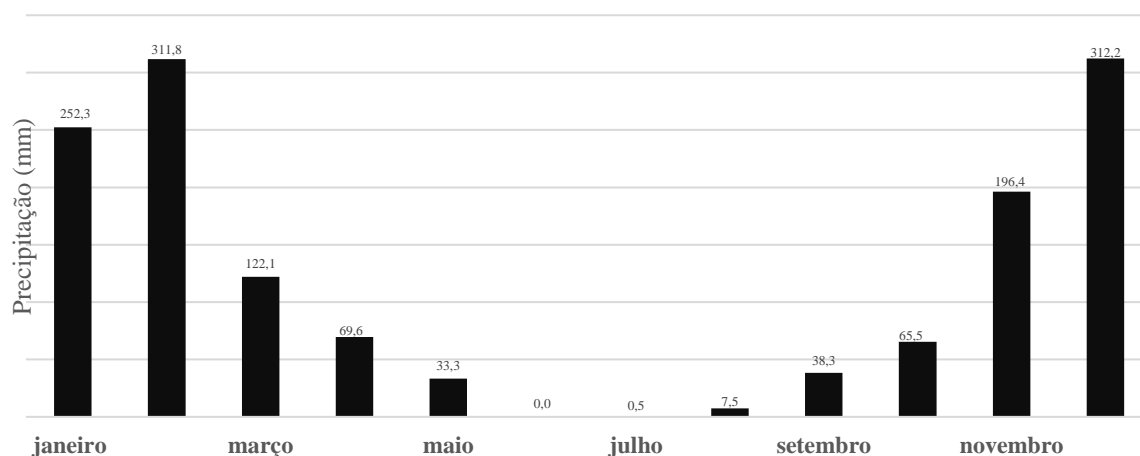


Figura 3 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos silviculturais - 2019. Elaboração: A autora (2024).

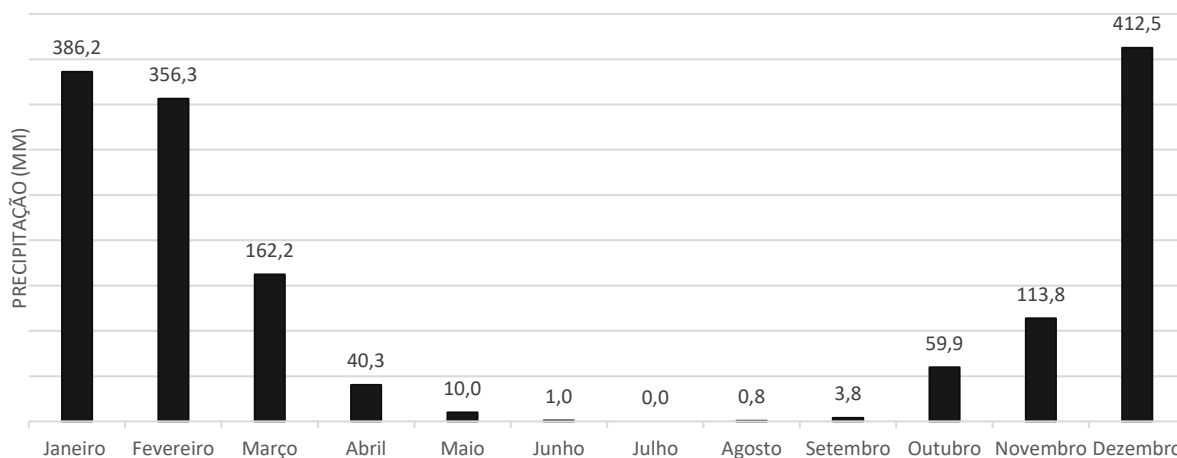


Figura 4 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos silviculturais - 2020. Elaboração: A autora (2024).

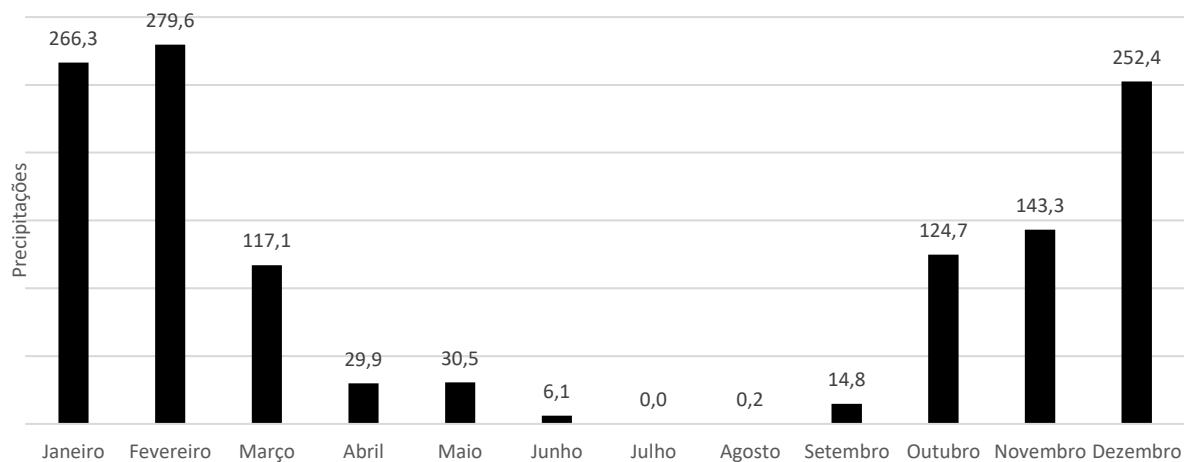


Figura 5 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos de silviculturas - 2021. Elaboração: A autora (2024).

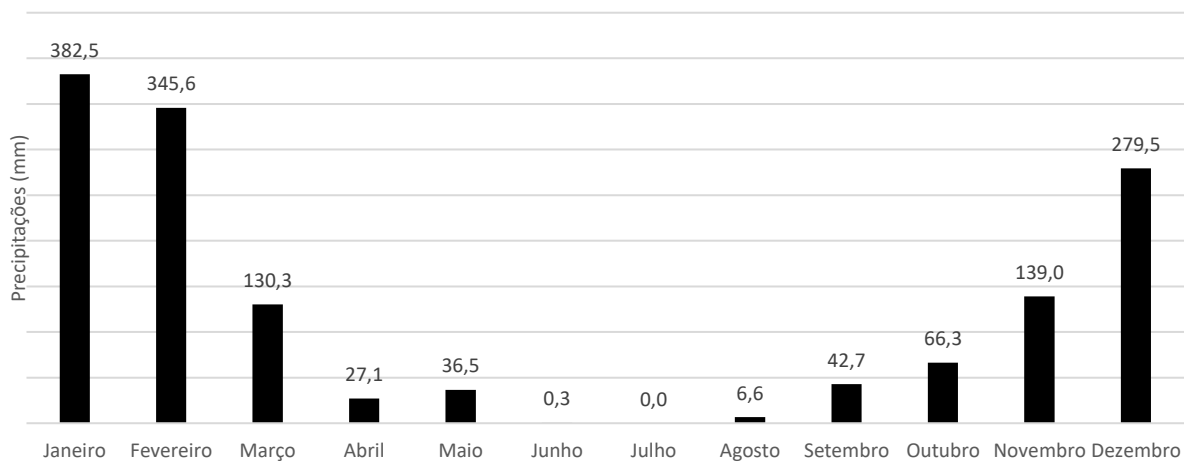


Figura 6 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos de silviculturas - 2022. Elaboração: A autora (2024).

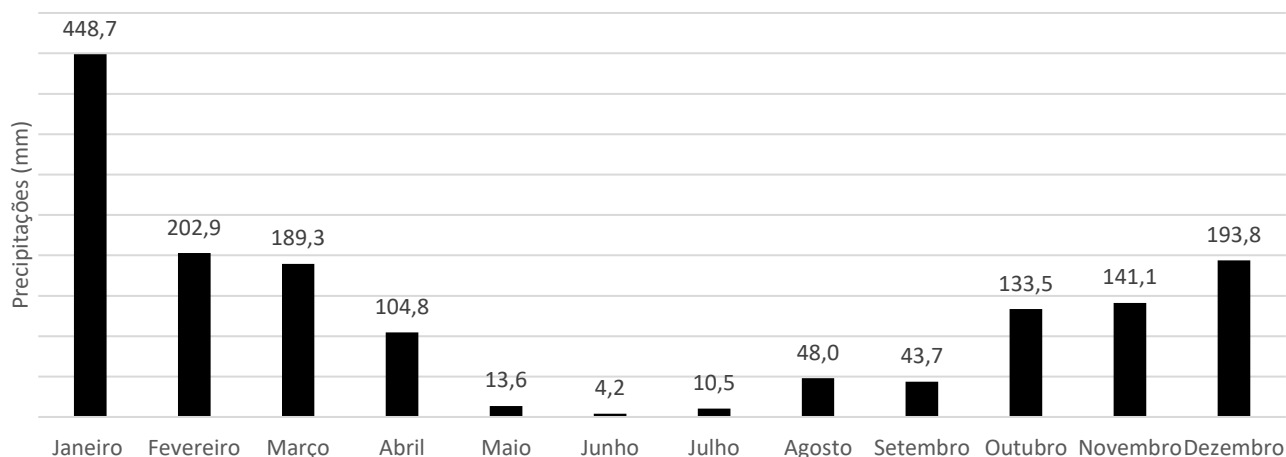


Figura 7 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos de silviculturas - 2023. Elaboração: A autora (2024).

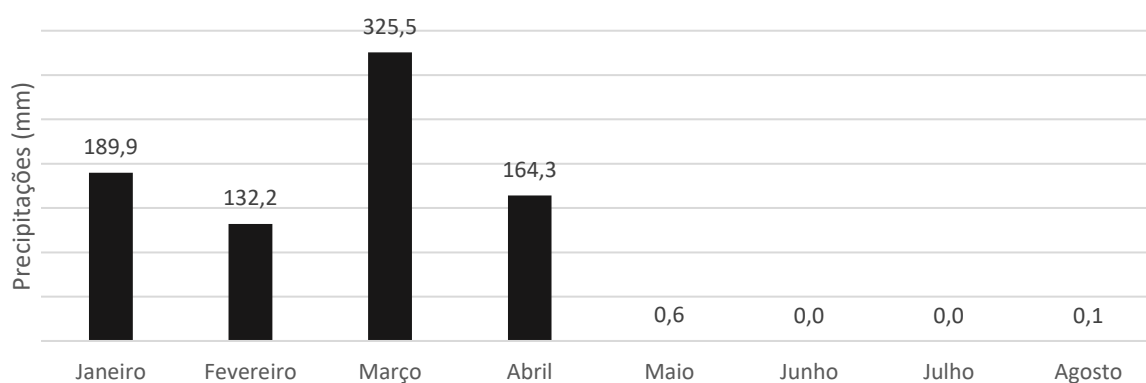


Figura 8 - Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos silviculturas - 2024. Elaboração: A autora (2024).

A Figura 8 indica que, de maio a agosto de 2024, a área dos projetos florestais passou pelo período mais severo de seca em relação aos anos anteriores. Esta tendência preocupante é significativa, especialmente levando em conta a correlação com os vários incêndios florestais que ocorreram recentemente no mesmo intervalo de tempo. A falta de precipitações não só afeta a saúde das florestas, como também aumenta o perigo de incêndios, gerando um ciclo alarmante que impacta a biodiversidade e a produção agrícola. Assim, torna-se crucial abordar essa ligação no texto, destacando como as alterações climáticas e a má administração das florestas podem levar a um crescimento na frequência e na severidade dos incêndios, prejudicando tanto o meio ambiente quanto as atividades econômicas da região.

Na Tabela 2 é apresentada a distribuição de focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba entre 2019 e 2024. A quantidade de focos mensais variou ao longo dos anos, evidenciando períodos de maior concentração, associados a condições climáticas adversas, como estiagens e altas temperaturas, que quando combinados favorecem a ocorrência de incêndios.

Tabela 2. Distribuição mensal de focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba de 2019 – 2024. Elaboração: Os autores (2024)

	Jan	Fev	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
2019	532	270	193	227	434	1.270	1.792	4.685	12.903	2.574	626	150	25.656
2020	282	264	347	357	685	1.172	2.110	5.599	14.369	8.803	1.733	254	35.975
2021	534	377	443	665	1.327	1.873	3.708	8.786	21.017	2.216	846	846	42.638
2022	240	322	330	343	742	1.106	2.661	2.607	5.663	2.086	649	101	16.850
2023	48	139	197	191	890	899	1.399	3.007	3.310	1.975	1.586	1.424	15.065
2024	469	279	421	535	1.290	2.513	3.657	15.217	-	-	-	-	24.381

Em 2019, houve um total de 25.656 focos, com picos em agosto e setembro, meses típicos da estação seca, onde a ausência de chuvas contribui significativamente para o aumento das chances de propagação de incêndios florestais. No ano de 2020, o número de focos aumentou para 35.975, com destaque para os meses de setembro e outubro, indicando que os focos se estenderam além do período seco tradicional.

Em 2021, houve uma elevação ainda mais acentuada, totalizando 42.638 focos. Esse aumento pode estar associado a condições climáticas extremas, que aumentaram a suscetibilidade a incêndios em toda a região. O ano de 2022 apresentou uma redução nos focos, com 16.850 no total, distribuídos de maneira mais homogênea ao longo do ano, embora ainda com concentração maior durante os meses secos.

Já em 2023, observou-se um total de 15.065 focos, marcando uma leve redução em comparação ao ano anterior, mas ainda com registros elevados durante o período crítico de julho a setembro. Para 2024, até agosto, o número acumulado de focos foi de 24.381, com um aumento expressivo em agosto, diminuindo que o ano pode fechar com valores elevados, caso a tendência de incêndios se mantenha nos meses restantes. Esses dados indicam que os anos mais críticos em termos de focos de calor foram 2020 e 2021, com picos especialmente intensos durante os meses de seca. A análise revela a necessidade de estratégias mais eficazes de

prevenção e controle de incêndios, principalmente nos meses que apresentam maior concentração de focos, para mitigar os impactos ambientais e econômicos na região.

4.2 DINÂMICA DOS FOCOS DE CALOR NOS EMPREENDIMENTOS SILVICULTURAIS

Na Figura 9 é apresentada a localização geográfica das fazendas objetos de estudo, destacando as áreas de cultivo de eucalipto na mesorregião. As fazendas estão distribuídas em diferentes municípios, mas todas estão localizadas em regiões com alta concentração de focos de calor e de registros de incêndios, como indicam os resultados obtidos. As disposições dessas áreas próximas existem áreas de cerrado típico, pastagens e outras culturas agrícolas de maior susceptibilidade ao fogo, aumenta as condições favoráveis ao alastramento do fogo, principalmente durante a estação seca.

A análise do mapa referente às áreas adjacentes à silvicultura denota as interações entre os empreendimentos de silvicultura e os riscos ambientais. A proximidade entre algumas fazendas pode também aumentar o potencial de propagação de incêndios de uma propriedade para outra, especialmente se não houver aceiros adequados ou outras medidas de prevenção. Portanto, o planejamento de medidas integradas de gestão do fogo nas fazendas é essencial para reduzir os riscos (Guimarães *et al.*, 2014).

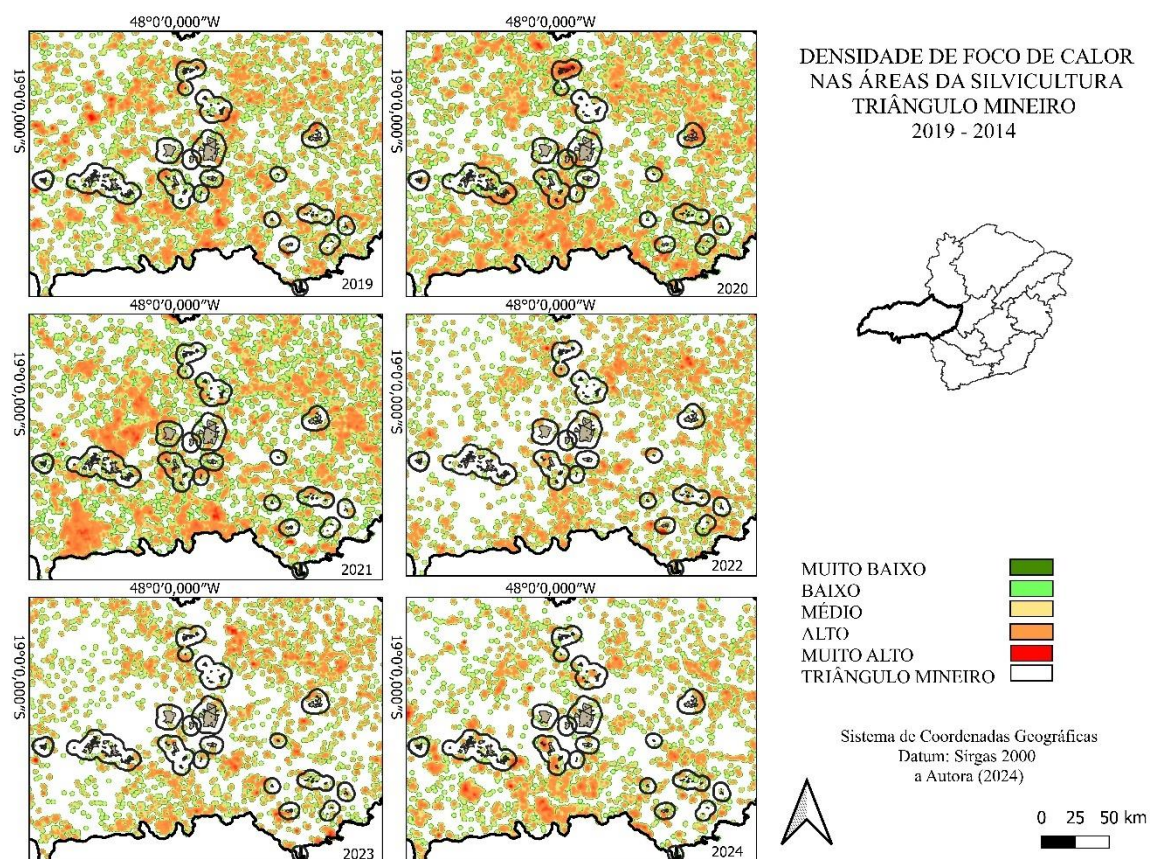


Figura 9 - Mapa de focos de calor nas fazendas de eucalipto e áreas adjacentes aos empreendimentos.

No mapa da Figura 10 é detalhada a densidade dos focos de calor nos diferentes empreendimentos de silviculturas ao longo dos anos analisados, com ênfase naqueles com maiores observações de focos de calor ao longo de todos os anos, sendo eles sistematicamente selecionados para uma análise mais minuciosa. As áreas com maior concentração de focos variaram de um ano para outro, entretanto observa-se um padrão recorrente de aumento da densidade durante os períodos de seca, especialmente em 2020 e 2021. O empreendimento 4, em particular, apresentou uma densidade de focos mais elevado em 2021, com um aumento significativo em agosto. Esse comportamento pode estar associado a práticas específicas de manejo ou à localização em uma área mais propensa à ocorrência de incêndios.

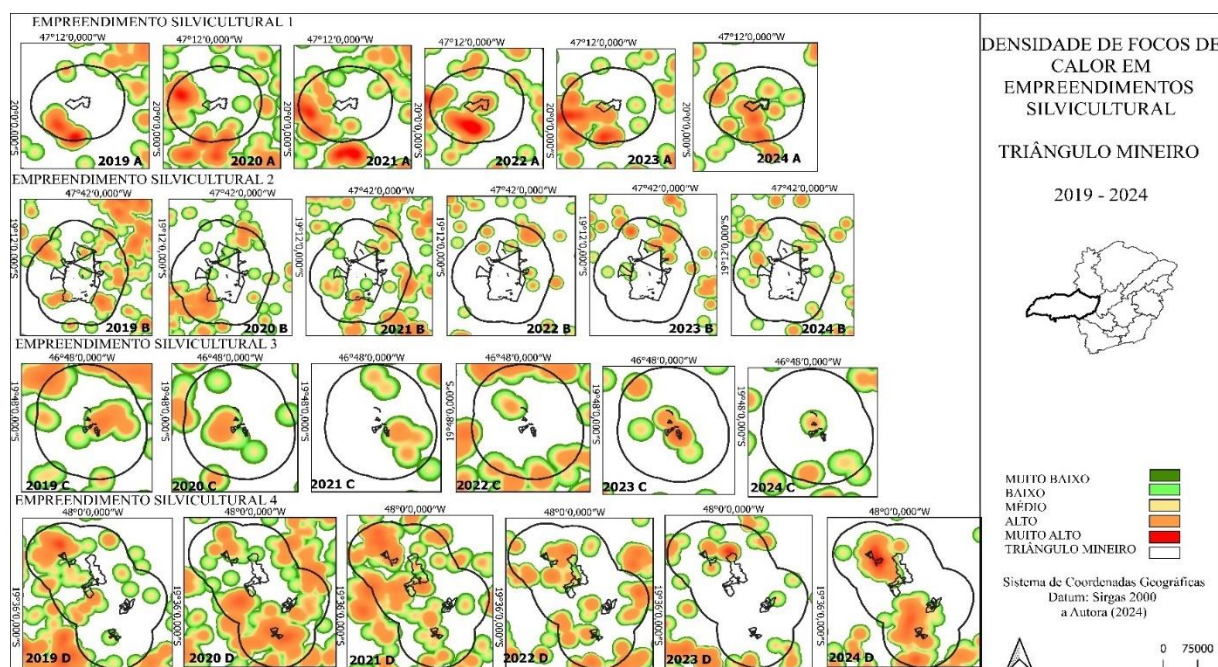


Figura 10 - Densidade de focos de calor no contexto dos empreendimentos com cultivos de eucalipto. Empreendimentos (A)1; (B) 2; (C) 3; e (D) 4, entre os anos de 2019 a 2024, respectivamente.

Comparativamente, os empreendimentos 1, 2 e 3 apresentaram flutuações na densidade de focos de calor, embora todos tenham registrado períodos críticos em que essa densidade aumentou significativamente. Esses dados destacam a necessidade de ajustes nos planos de manejo florestal e de medidas preventivas específicas para cada empreendimento, como o reforço na criação de aceiros, monitoramento contínuo e treinamentos periódicos para os trabalhadores sobre a prevenção e combate a incêndios. (Guimarães *et al.*, 2014).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 revelam informações sobre os empreendimentos no período de 2019 a 2024. Analisando a Tabela 3, que apresenta os focos de calor no empreendimento de silvicultura 1, observa-se que, em 2022, houve um aumento significativo com 344 focos, sendo julho o mês mais crítico, com 146 ocorrências. Em 2023, os focos de calor diminuíram para 84, porém em 2024, uma nova elevação foi observada, totalizando 110 focos, com destaque para os meses de maio e junho.

Tabela 3. Distribuição mensal de focos de calor no empreendimento de silvicultura 1 de 2019 – 2024. (Fazenda Nome). Elaboração: Os autores (2024)

	Jan	Fev	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
2019	8	4	3	-	21	15	4	5	4	8	1	-	73

2020	-	-	1	23	38	26	23	19	2	3	-	1	136
2021	-	-	-	1	46	26	21	-	2	4	-	9	109
2022	-	3	8	6	46	69	146	26	12	27	-	1	344
2023	-	-	4	10	20	12	12	-	16	7	-	3	84
2024	3	-	-	-	31	35	16	25	-	-	-	-	110

A Tabela 4, correspondente ao empreendimento de silvicultura 2, revela um padrão semelhante ao da silvicultura 1, com um total de 344 focos em 2022 e uma queda para 84 em 2023, seguida por um nível aumento em 2024, totalizando 110 focos. Esses dados indicam que ambos os empreendimentos podem ser influenciados por fatores semelhantes, como condições climáticas e práticas de manejo.

Tabela 4. Distribuição mensal de focos de calor no empreendimento de silvicultura 2 de 2019 – 2024. Elaboração: Os autores (2024)

	Jan	Fev	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
2019	8	4	3	-	21	15	4	5	4	8	1	-	73
2020	-	-	1	23	38	26	23	19	2	3	-	1	136
2021	-	-	-	1	46	26	21	-	2	4	-	9	109
2022	-	3	8	6	46	69	146	26	12	27	-	1	344
2023	-	-	4	10	20	12	12	-	16	7	-	3	84
2024	3	-	-	-	31	35	16	25	-	-	-	-	110

Na Tabela 5, referente ao empreendimento 3, nota-se que os números são menores, houve um aumento no número de focos de calor ao longo dos anos, com um pico significativo em 2023 64 focos. Em 2019, houve 36 focos, aumentando para 64 em 2023, com destaque para os meses de julho 30 focos e setembro 32 focos. Possivelmente relacionado a secas prolongadas e práticas de queimadas.

Tabela 5. Distribuição mensal de focos de calor no empreendimento de silvicultura 3 de 2019 – 2024. Elaboração: Os autores (2024)

	Jan	Fev	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
2019	-	-	-	-	-	-	2	1	29	4	-	-	36
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	2	-	29
2021	-	-	-	-	-	-	-	2	16	-	4	-	22
2022	-	-	-	-	-	-	-	10	5	-	-	-	15
2023	-	2	-	-	-	-	30	-	32	-	-	-	64
2024	-	-	-	-	-	-	-	3	18	-	-	-	21

A Tabela 6, que apresenta os dados do empreendimento 4, destaca-se por um total de 624 focos em 2024, com uma concentração alarmante em agosto (541 focos). Essa área, embora apresente um crescimento contínuo ao longo dos anos, também mostra um padrão de picos em 2022, semelhante a outros empreendimentos, mas com um aumento significativo em 2024, indicando uma potencial intensificação do problema.

Tabela 6. Distribuição mensal de focos de calor no empreendimento de silvicultura 4 de 2019 – 2024. Elaboração: Os autores (2024)

	Jan	Fev	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot
2019	2	1	-	-	1	3	1	6	152	8	-	1	175
2020	1	-	1	-	-	11	12	46	325	52	-	-	448
2021	1	-	28	3	3	6	15	173	124	6	1	2	362
2022	-	-	3	-	6	4	-	10	51	18	1	-	93
2023	-	-	2	-	37	16	-	-	2	9	-	-	66
2024	1	-	-	-	3	6	73	541	-	-	-	-	624

Ao analisar os dados apresentados nas tabelas, fica evidente que, embora os focos de calor na área de silvicultura sejam significativos, eles constituem apenas uma pequena parte do problema mais abrangente na mesorregião. Em 2022, a mesorregião registrou um total de 16.850 focos de calor, enquanto os empreendimentos de silvicultura somaram 344 focos, o que destaca a necessidade de um manejo mais eficaz para prevenir incêndios florestais.

Entre os diferentes empreendimentos, as silviculturas 1 e 2 apresentaram números muito semelhantes de focos de calor, enquanto a silvicultura 3 registrou um número inferior. Em contraste, a silvicultura 4 se destacou em 2024, apresentando o maior número de focos, o que sugere uma dinâmica distinta que pode estar relacionada a fatores específicos de manejo, como técnicas de cultivo, práticas de prevenção e a localização geográfica da propriedade. Essa variação nos dados ressalta a importância de estratégias adaptativas para cada empreendimento, visando minimizar os riscos de incêndios e promover a sustentabilidade das áreas silviculturais.

Esses dados são de extrema importância para o planejamento e implementação de estratégias de manejo de incêndio e conservação ambiental, possibilitando que medidas proativas sejam tomadas para mitigar os riscos associados a incêndios. Uma análise detalhada dos focos de calor ajuda a compreender a dinâmica de incêndios na região e o desenvolvimento de políticas adequadas para a preservação dos recursos naturais e a sustentabilidade das silviculturas (Brasil, 2024).

Amaral (2022), em seu estudo revelou padrões semelhantes de sazonalidade e distribuição espacial dos focos de calor, influenciados por fatores climáticos e pelo uso do solo em Uberaba – MG. No presente trabalho, observa-se que os picos de incêndio ocorrem durante os meses de seca (maio a setembro), uma tendência também verificada em Uberaba, onde os focos de calor se intensificam em agosto e setembro, devido ao déficit hídrico. Em ambos os casos, a redução da umidade da vegetação durante os períodos de estiagem aumenta a suscetibilidade ao fogo. A concentração de focos de calor em áreas específicas, como nas porções ao sul e leste de Uberaba, é semelhante à observada nas áreas de silvicultura no Triângulo Mineiro, onde o cultivo de eucalipto e pastagens favorece a propagação de incêndios. Outro ponto em comum é a influência do uso agrícola do solo.

Comparado ao atual trabalho com o de Silva *et al.*, (2020), ambos mostram que os focos de calor aumentam nos meses secos e estão ligados ao uso do solo, como áreas de cultivo e pastagens. Nos dois casos, a concentração de incêndios é maior em regiões agrícolas, mas no Triângulo Mineiro os focos se concentram em áreas de silvicultura, enquanto na BHRM se espalham mais ao longo de rodovias e culturas de soja. As condições climáticas regionais também influenciam de forma diferente, com o Triângulo Mineiro tendo uma estação seca definida e a BHRM sendo afetada pela Zona de Convergência Intertropical.

Já em Oliveira (2019), foi realizado monitoramento de focos de calor e incêndios florestais em Ituiutaba – MG. No estudo também se corrobora que os focos de calor aumentam nos meses secos, especialmente entre julho e setembro, e estão fortemente relacionados com as condições climáticas adversas, como baixa umidade do ar e ventos fortes. Nos dois trabalhos,

Os resultados do monitoramento dos focos de calor na sub-bacia do Rio Araçuaí evidenciam a influência significativa da topografia, clima e uso do solo na ocorrência de incêndios florestais (Menezes *et al.*, 2019). Uma análise de densidade de Kernel mostrou que os focos de calor se concentram em regiões com maior altitude e declividade, áreas propensas à desertificação e fragilidade ambiental.

A irregularidade na distribuição das chuvas, aliada às altas temperaturas e à presença de material combustível, como biomassa remanescente, intensifica o risco de incêndios, especialmente nos anos de 2010 e 2015, que evidenciaram picos de alta densidade de focos. Esses achados reforçam a importância de um monitoramento contínuo e a implementação de medidas de fiscalização e prevenção, eventualmente mitigar os impactos dos incêndios e preservar os ecossistemas vulneráveis na região do Vale do Jequitinhonha (Menezes *et al.*, 2019).

Outro ponto de convergência entre os estudos é a influência do uso do solo na distribuição dos focos de calor. No Triângulo Mineiro, áreas de silvicultura e pastagens são mais propensas a incêndios, enquanto na RBSE, as unidades de conservação e áreas de campos rupestres, ricas em biodiversidade, também apresentam alta vulnerabilidade devido à pressão antrópica e ao histórico de queimadas. Em ambos os casos, a prática de queimadas, seja para renovação de pastagens ou manejo agrícola, contribui para a ocorrência de incêndios em áreas ambientalmente sensíveis. Portanto, os métodos e descobertas desses estudos se complementam e reforçam a importância de estratégias de prevenção baseadas em análises espaciais. A integração de técnicas de geoprocessamento e monitoramento contínuo pode ser usada como um modelo eficaz para a gestão de incêndios em diferentes regiões, adaptando-se às especificidades de cada local e auxiliando na proteção da biodiversidade e mitigação dos impactos ambientais (Menezes *et al.*, 2019).

4.2.1. Principais causas dos incêndios na área de estudo

As Figuras 11 a 15 apresentam uma análise das causas dos incêndios florestais na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba entre 2021 e 2024. Em 2021, a maioria das ocorrências (73%) teve origem desconhecida, relatando uma dificuldade significativa em identificar as causas exatas dos incêndios, o que limita as ações preventivas direcionadas. Contudo, uma pequena parcela foi atribuída a fatores humanos, como atividades criminosas (3%) e uso de máquinas e veículos (2%), mostrando que a ação antrópica, embora não predominante, ainda representava uma ameaça.

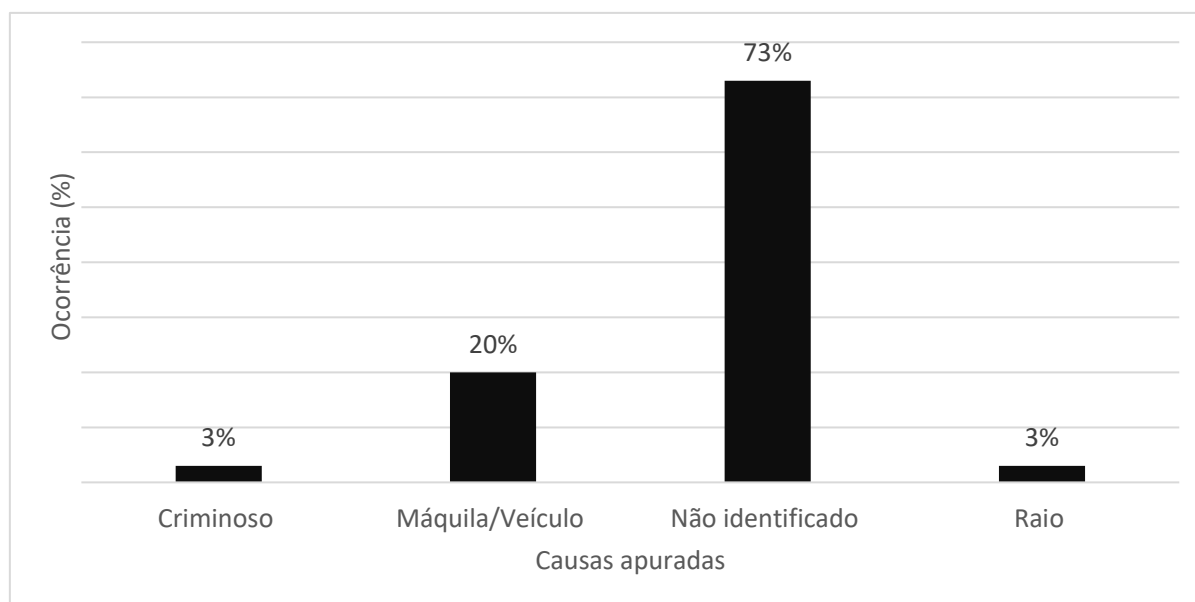


Figura 11 - Percentual de ocorrência por causa apurada em 2021. Elaboração: a autora (2024).

Em 2022, o cenário mudou, com uma diversificação nas causas identificadas. Os incêndios relacionados às redes elétricas aumentaram para 5%, refletindo uma vulnerabilidade na infraestrutura elétrica da região, que pode ser agravada pelo contato de linhas de energia com a vegetação seca. As ocorrências por descuido humano (27%) e causas criminosas (17%) indicaram um aumento significativo na influência direta das ações humanas. Esse fato destaca a necessidade de campanhas educativas inovadoras para o uso seguro do fogo, especialmente em áreas de alto risco.

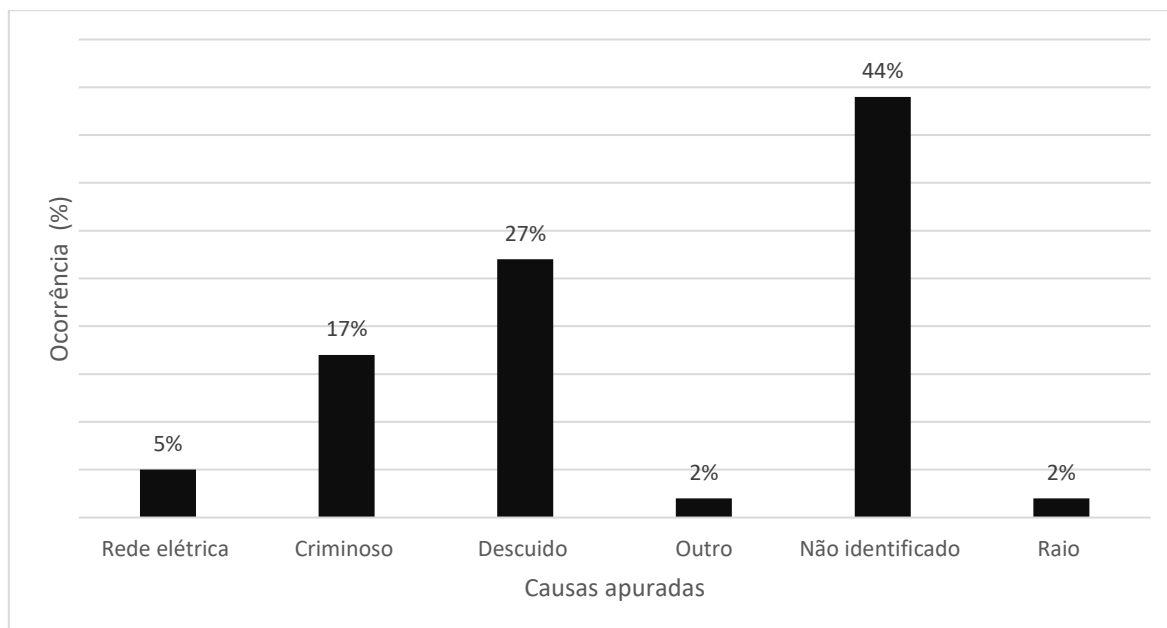


Figura 12 - Percentual de ocorrência por causa apurada em 2022. Elaboração: A autora (2024).

No ano de 2023 registrou o maior percentual de incêndios relacionados à rede elétrica, com 7% das ocorrências, evidenciando uma tendência preocupante. Esse aumento pode estar associado a falhas na manutenção e à sobrecarga da rede elétrica durante o período seco, quando a vegetação seca se torna combustível facilmente inflamável. Além disso, causas diversas como "linha férrea" e "outros" apareceram com mais frequência, apontando para múltiplos fatores que influenciam os incêndios, o que sugere a necessidade de abordagens integradas para a mitigação.

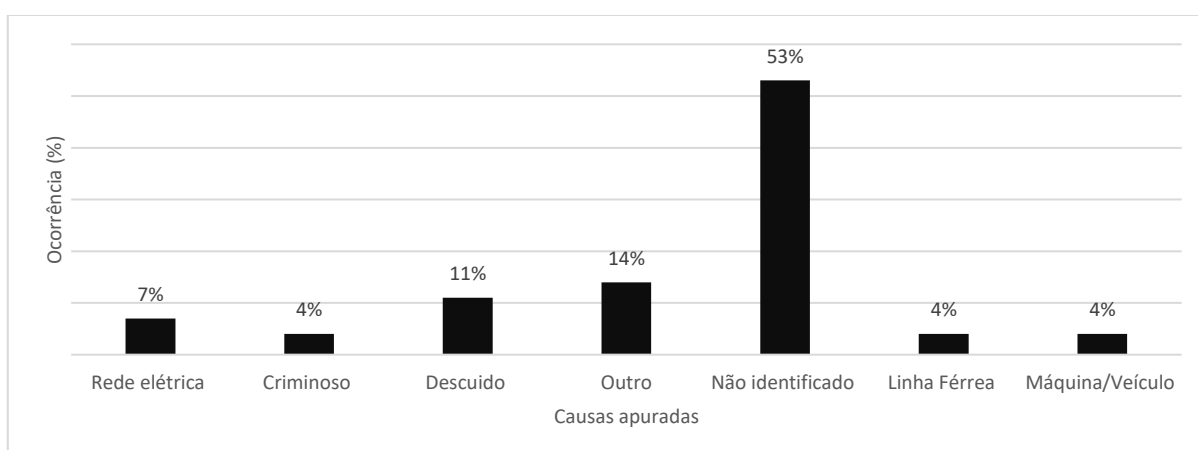


Figura 13 - Percentual de ocorrência por causa apurada em 2023. Elaboração: A autora (2024).

Em 2024, até agosto, a maioria dos incêndios (22%) continuava sem causa identificada, refletindo a dificuldade persistente em monitorar e avaliar corretamente as origens dos incêndios. Notou-se um aumento significativo nas ocorrências por causas criminosas (48%), o que pode indicar uma intensificação das ações ilegais ou incendiárias. Os incêndios relacionados com a utilização de máquinas/veículos (1%) e à rede elétrica (4%) mantiveram-se como causas importantes, reforçando a necessidade de fiscalização rigorosa e melhoria na infraestrutura.

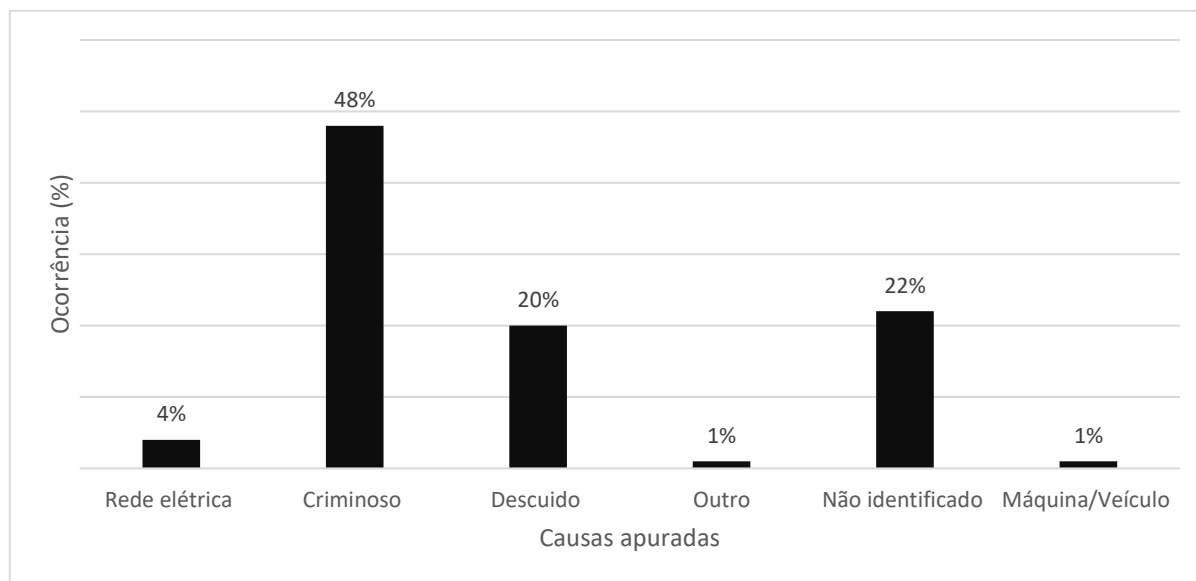


Figura 14 - Percentual de ocorrência por causa apurada em 2024. Elaboração: A autora (2024).

Esses dados destacam a relevância de medidas preventivas específicas, como a manutenção regular das linhas de transmissão elétrica, a aplicação de conselhos mais específicos para atividades incendiárias ilegais e a intensificação das campanhas educativas específicas à população local. A melhoria da infraestrutura elétrica nas áreas rurais, em particular, deve ser uma prioridade para reduzir o risco de incêndios causados por falhas no sistema.

As Tabelas 7 e 8 apresentam o aumento progressivo das áreas queimadas em hectares de 2021 a 2024. Em 2021, as áreas afetadas pelos incêndios eram relativamente menores, porém apresentou crescimento em áreas próximas às áreas plantadas. Em 2022, observou-se uma expansão significativa das áreas queimadas, especialmente nas regiões de alta densidade de eucalipto, atingindo zonas anteriormente consideradas de baixo risco. Esse aumento pode ser atribuído a condições climáticas extremas, como longos períodos de seca combinados com temperaturas elevadas, que aumentaram a inflamabilidade do cenário. No ano de 2023, embora

o total de focos de calor tenha sido reduzido em relação ao ano anterior, as áreas atingidas são de apoio extensas. A persistência de queimadas em áreas de silvicultura indica que, mesmo com uma redução no número de focos, a intensidade e a propagação de incêndios contribuíram para representar uma ameaça significativa.

Em 2024, até o mês de agosto, as áreas de silvicultura já mostravam um impacto notável, com grandes áreas de eucalipto danificadas. Esse aumento na extensão dos danos corrobora a tendência de elevação dos focos de calor observada nos dados e evidencia a urgência de estratégias estratégicas para controle e prevenção, como a criação de aceiros mais largos, o uso de barreiras naturais e a implementação de práticas de manejo sustentável que reduzam a carga de material combustível.

Tabela 7 – Área em hectares atingidas por incêndios florestais de 2021 a 2024 nas áreas referentes aos empreendimentos silviculturais alvo deste estudo. Elaborado por a autora (2024).

Área Atingida (ha)	2021	2022	2023	2024
Eucalipto	86,4	0,9	4,1	90,8
Pinus	0	0	0,2	12,9
Áreas de conservação	399,2	18	4	253,6
Terceiros	2.971,6	40,3	264,8	6.471,3

Tabela 8 – Área total produtiva de eucalipto atingida por incêndios florestais de 2021 a 2024. Elaborado por a autora (2024).

Área total produtiva (ha) atingida	
2021	86,4
2022	0,9
2023	4,3
2024	103,7

A análise dos gráficos referentes às Figuras 15 a 18 revela que a maioria dos focos de incêndio entre 2021 e 2024 tiveram origem em áreas de terceiros. Em 2021 (Figura 15) cerca de 73% das ocorrências foram em propriedades de terceiros, indicando que a falta de controle em terrenos privados contribuiu significativamente para a propagação de incêndios. Em 2022 (Figura 16), os focos originários em bordas de rodovias (12%) e estradas (12%) também aumentaram, diminuindo que atividades humanas próximas às vias de circulação, como descartes inadequados e fagulhas de veículos, foram fatores de risco.

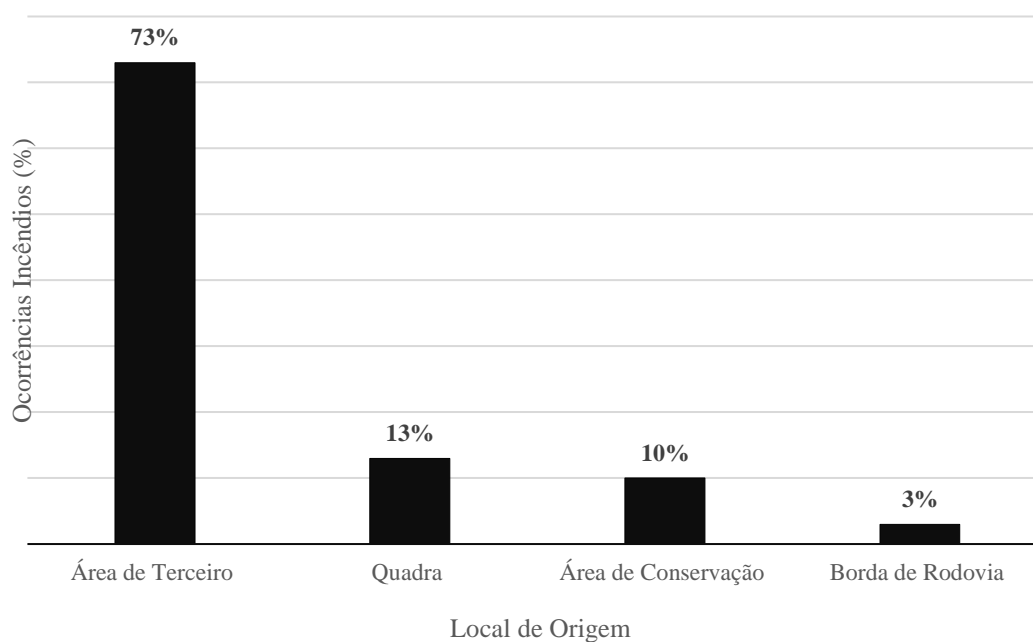


Figura 15 - Percentual de ocorrências de incêndio por local de origem em 2021. Elaboração: A autora (2024).

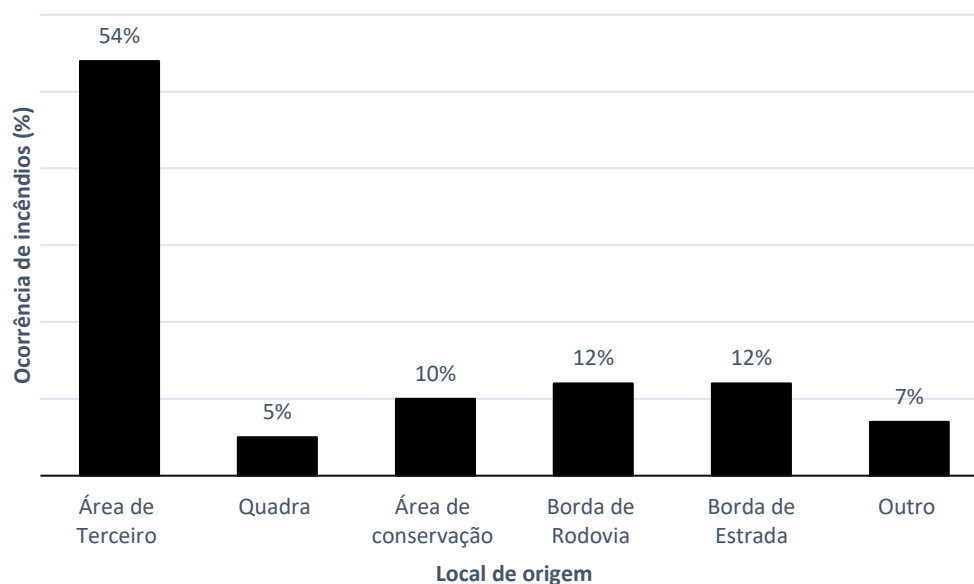


Figura 16 - Percentual de ocorrência de incêndio por local de origem em 2022. Elaboração: A autora (2024).

Em 2023, os incêndios nas bordas de rodovias representaram 35% das ocorrências, evidenciando que áreas próximas às vias de transporte são pontos críticos para o início dos focos de calor. Isso sugere a necessidade de ações preventivas, como a limpeza das margens das rodovias e a instalação de barreiras corta-fogo.

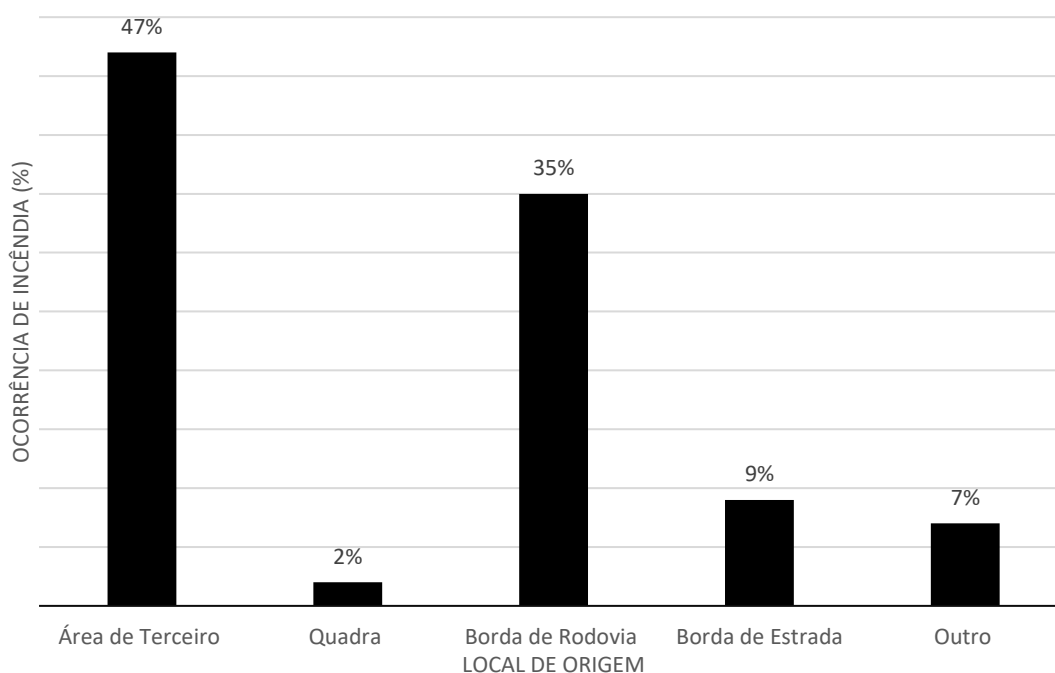


Figura 17 - Percentual de ocorrência de incêndio por local de origem em 2023. Elaboração: A autora (2024).

Para 2024, até agosto, as ocorrências em áreas de terceiros mantiveram-se altas (53%), seguidas por bordas de rodovias (21%). Essa continuidade nas tendências reforça a necessidade de conscientização e medidas preventivas específicas para os proprietários de terras e empresas responsáveis pela manutenção de rodovias, envolvendo a redução do risco de incêndios originados nessas áreas.

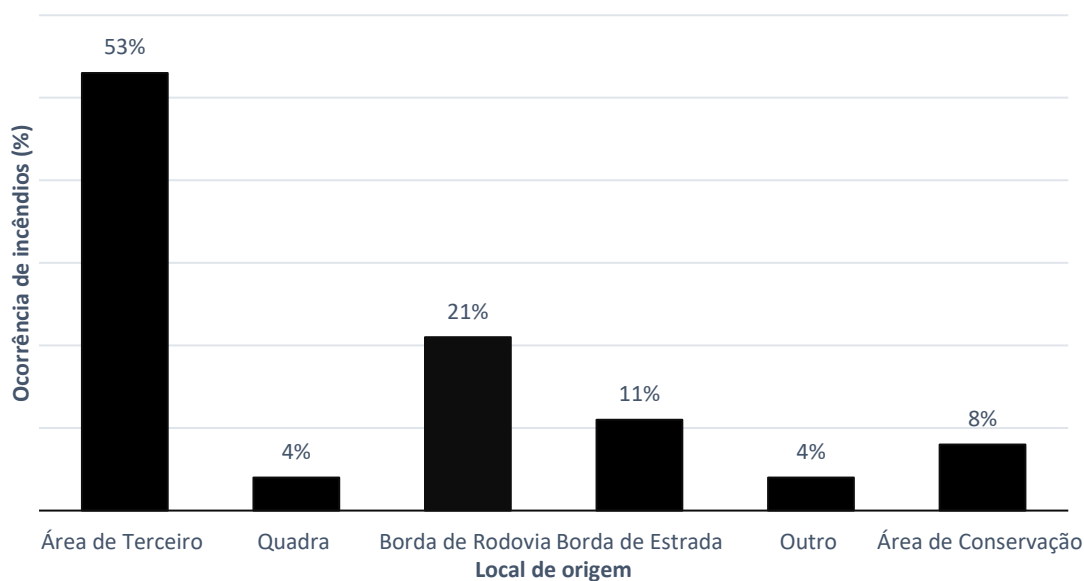


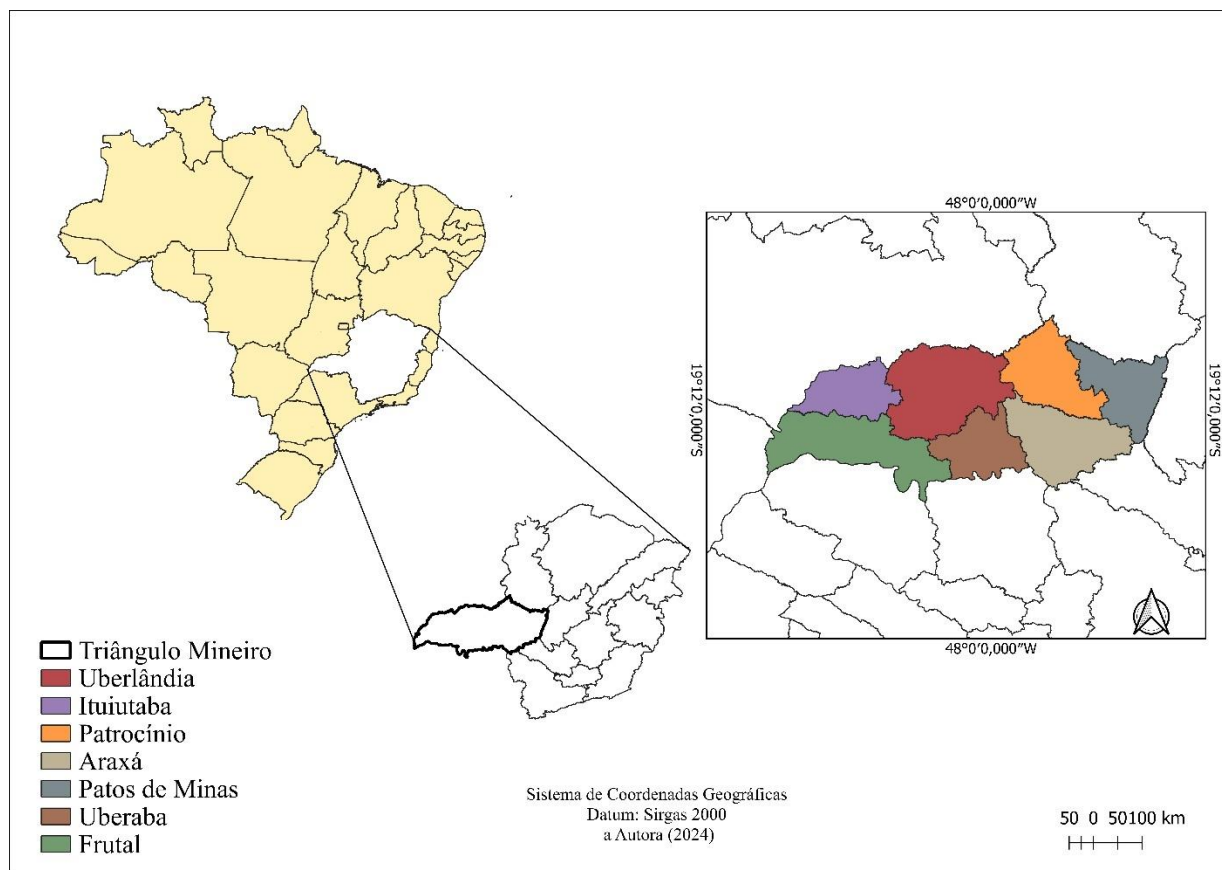
Figura 18 - Percentual de ocorrência de incêndio por local de origem em 2024. Elaboração: A autora (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Este trabalho conseguiu atender ao seu objetivo geral de diagnosticar os focos de calor nas áreas adjacentes à silvicultura no Triângulo Mineiro, identificando fatores de risco e propondo medidas de prevenção e controle. Uma análise dos focos de calor entre 2019 e 2024 mostrou que a diminuição das chuvas está diretamente relacionada ao aumento dos incêndios, com picos em anos de baixas ocorrências, especialmente em agosto e setembro. A densidade dos focos foi mais acentuada nas áreas de cultivo de eucalipto e pastagens, revelando a necessidade de estratégias específicas de manejo. O uso da técnica de densidade de Kernel possibilitou mapear as áreas críticas, confirmando sua eficácia na detecção de incêndios florestais. Além disso, a pesquisa destacou a importância de políticas de monitoramento e campanhas educativas, enfatizando a necessidade de melhorias na infraestrutura elétrica e de fiscalização em áreas vulneráveis. As recomendações para práticas de manejo e estratégias de prevenção são essenciais para mitigar os impactos negativos dos incêndios, garantindo a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade das silviculturas na região.

APÊNDICE 1: OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NAS MICRORREGIÕES DO TRIÂNGULO MINEIRO

Figura 19 – Microrregiões do Triângulo Mineiro.



Fonte: A autora (2024)

Tabela 9 - Número de focos de calor nas Microrregiões do Triângulo Mineiro.

	Uberlândia	Uberaba	Ituiutaba	Patos de Minas	Frutal	Araxá
2019	6284	4087	2275	1950	2151	4830
2020	6826	6766	1758	3117	4238	5667
2021	8857	8172	3394	2808	5678	6401
2022	2544	1669	881	2050	1564	3777
2023	2288	1435	1840	1488	1567	3080
2024	4524	6342	1388	1741	3371	3571

Fonte: A autora (2024)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMARAL, Gabriella Dantas. **Concentração dos focos de calor no aspecto do uso e ocupação do solo: estudo de caso para o município de Uberaba – MG**. 2022. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

BAHIA, Nina Couto. **Recomendações gerais para manejo integrado do fogo em unidades de conservação com mata atlântica na Bahia**. 2023. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Instituto de Biologia Programa de Pós-Graduação em Ecologia Mestrado Profissional em Ecologia Aplicada À Gestão Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.

BORGES, Kelly Maria Resende *et al.* Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Subsídio ao Manejo do Fogo e ao Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais. **Biodiversidade Brasileira - Biobrasil**, [S.L.], n. 2, p. 168-178, 6 de maio de 2021. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICBBio. <http://dx.doi.org/10.37002/biobrasil.v1i2.1685>.

BRABO, Liliane Souza. **Indicadores de sustentabilidade funcionais para avaliação do manejo florestal no contexto amazônico**. 2022. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, O Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

BRASIL, Map Biomas. **Monitor de Fogos**. 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/monitor-do-fogo>. Acesso em: 15 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024**. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio

de 2012 (Código Florestal), e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm. Acesso em: 24 out. 2024.

BRASIL. **Manejo integrado do fogo**: Lei reduz incêndios florestais e promove sustentabilidade. Com foco na prevenção de incêndios e na proteção do meio ambiente, a Lei destaca o papel dos agricultores familiares na substituição gradativa da prática nas atividades agrícolas. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202409/manejo-integrado-do-fogo-lei-reduz-incendios-florestais-e-promove-sustentabilidade-no-campo>. Acesso em: 24 out. 2024.

CONCEIÇÃO, Caio Vinicius Carvalho da. **Uso e ocupação do solo e focos de queimadas no município de Uberlândia-MG entre 2001 a 2021**. 2023. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

DEFESA CIVIL ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO. **Incêndios florestais**: o que é? 2024. Disponível em: <https://defesacivil.rj.gov.br/index.php/para-o-cidadao/como-agir-em-desastres/22-incendios-florestais>. Acesso em: 15 set. 2024.

DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA DO INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. **Aspectos do Cerrado**: solo. Solo. 2024. Disponível em: https://ecologia.ib.usp.br/cerrado/aspectos_solo.htm. Acesso em: 15 out. 2024.

FAGUNDES, Raimundo *et al.* Distribuição de Focos de Calor na Bacia Hidrográfica do Rio Coxipó, no Município de Cuiabá (Mato Grosso). **Tecnologia e Ambiente**, [S.L.], v. 28, p. 53, 20 dez. 2021. Fundação Educacional de Criciúma- FUCRI. <http://dx.doi.org/10.18616/ta.v28i0.6782>.

FRANCO, Camila. **A expansão das florestas plantadas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. 2020. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, UFU, Uberlândia, 2020. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3633>.

GUIMARÃES, Pompeu Paes *et al.* Análise Dos Impactos Ambientais De Um Incêndio Florestal. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 38-60, 2014.

IBGE. (2023). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) 2022**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

KÖPPEN. **Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros**. 2024. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 10 out. 2024.

MACHADO, Henrique Amorim *et al.* Metanálise da Produção Científica Sobre os Solos dos Municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba nos Últimos 30 Anos. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 36, p. 1-12, jan. 2024.

MENEZES, Eduarda Soares *et al.* Mapeamento de Focos de Calor em Área de Invasão Biológica no Domínio Mata Atlântica Em Minas Gerais. Sustentabilidade de Recursos Florestais, [S.L.], p. 81-95, 16 jan. 2019. Antonella Carvalho de Oliveira. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.4451916017>.

MENEZES, Eduarda Soares *et al.* Análise temporal de focos de calor na reserva da biosfera da serra do espinhaço. **Nativa**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 256-261, 30 abr. 2019. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6877>.

MENEZES, Eduarda Soares *et al.* Uso de geotecnologias na análise de focos de calor em uma sub-bacia do semiárido mineiro. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 56-61, 13 jun. 2019. *Agropecuária científica no Semiárido*. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v15i1.1057>.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; NOVAIS, Giuliano Tostes. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, [s. l], v. 9, n. 2, p. 1-39, 2020. Semestral. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854>. Acesso em: 15 set. 2024.

OLIVEIRA, Tiago Moreira de. **Monitoramento dos focos de calor e do risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG**. 2019. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

OLIVEIRA, Tiago Moreira de. **Monitoramento dos Focos de Calor e do Risco de Incêndios Florestais no Município de Ituiutaba-MG**. 2019. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

OLIVEIRA, Víncler Fernandes Ribeiro de *et al.* Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1194-1212, 1 jun. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1194-1212>.

PARZEN, Emanuel. Sobre estimativa de uma função de densidade de probabilidade e moda. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 33, n. 3, p. 1065-1076, 1962.

PEREIRA, Allan Arantes *et al.* Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Cerne**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 335-343, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602012000200019>.

QUEIROZ, Túlio Barroso *et al.* Conteúdo volumétrico de água e crescimento do eucalipto em condições de solo e clima contrastantes. **Série Técnica Ipef**, [S.L.], v. 26, n. 48, p. 162-165, 2023. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/sertec.v26n48.031>.

ROCHA, Désirre de Cássia Salazar. **Distribuição Espacial e Temporal de Focos de Calor no Município de Alegre – ES**. 2021. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Alegre, 2021.

ROCHA, Rodrigo; GÜNTZEL, Adriana Maria. Análise do grau de severidade do incêndio ocorrido em 2020 na RPPN Engenheiro Eliezer Batista, Corumbá/MS. **Geofronter**, [S.L.], v.

8, p. 1-18, 25 ago. 2022. State University of Mato Grosso do Sul. <http://dx.doi.org/10.61389/geofronter.v8.7100>.

ROSENBLATT, Murray. Comentários sobre algumas estimativas não paramétricas de uma função de densidade. **The Annals of Mathematical Estatísticas**, v. 27, n. 3, p. 832-837, 1956.

SILVA, Rennato Oliveira da *et al.* Sensoriamento Remoto na Detecção e Análise De Focos de Calor na Bacia Hidrográfica do Rio Munim. **Revista Cerrados**, [S.L.], v. 18, n. 01, p. 373-388, 30 jun. 2020. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). <http://dx.doi.org/10.46551/rc24482692202006>.

SILVERMAN, Bernard W. **Estimativa de densidade para estatística e análise de dados**. Nova York: Chapman & Hall/CRC, 1986.

SOUZA, Anderson Passos de. **Biomassa seca como combustível para incêndios em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2023. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2023.

TEIXEIRA, Georgia; RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos. Trajetória geográfica da silvicultura em Minas Gerais. **Mercator**, Fortaleza, v. 20, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.4215/rm2021.e20004>.