

Diagnóstico de focos de calor no Triângulo Mineiro com ênfase em áreas de produção silvicultural

Diagnosis of heat spots in the triangle of Minas Gerais with emphasis on areas of forestry production

Gabriela Saraiva Martins, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, gabssaraivaa@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-5041-1712>

Anna Caroline Costa Fanalli, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, anna.fanalli@ufu.br

 <https://orcid.org/0009-0007-3903-993X>

Danielle Piuzana Mucida, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil, danielle.piuzana@ufvjm.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5756-8081>

Vicente Toledo Machado de Moraes Júnior, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, vicente.morais@ufu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-5227-1951>

Luciano Cavalcante de Jesus França, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, luciano.franca@ufu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-8885-972X>

Resumo: Os incêndios florestais têm se tornado mais frequentes e impactantes devido à intensificação da emergência climática, causando perdas significativas nos ecossistemas naturais. Este estudo analisou focos de calor no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e áreas de silvicultura entre 2019 e 2024. Dados dos satélites GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M e Aqua_M-T foram obtidos do BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram analisados em ambiente SIG, utilizando o estimador de densidade de Kernel para criar mapas com cinco classes de densidade. Os resultados mostraram oscilações na concentração de focos ao longo do período, com maior incidência (45.638 focos) em 2021. A análise pluviométrica revelou correlação com a estação seca. Notou-se elevada incidência em áreas de cultivos florestais, destacando a necessidade de manejo integrado, monitoramento contínuo e conscientização da população para prevenir incêndios e reduzir danos socioambientais, especialmente em regiões produtivas e vulneráveis.

Palavras-chave: Geoprocessamento; SIG; Eucalipto; Incêndios florestais; Manejo de ecossistemas.

Abstract: Forest fires have become more frequent and impactful due to the intensification of the climate emergency, causing significant losses to natural ecosystems. This study analyzed hotspots in the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba and forestry areas between 2019 and 2024. Data from the GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M, and Aqua_M-T satellites were obtained from BDQueimadas from the National Institute of Spatial Research (INPE). They were analyzed in a GIS environment using the Kernel density estimator to create maps with five density classes. The results showed fluctuations in the concentration of hotspots throughout the period, with a higher incidence in 2021 (45,638 hotspots). Rainfall analysis revealed a correlation with the dry season. A high incidence was noted in forest crop areas, highlighting the need for integrated management, continuous monitoring, and population awareness to prevent fires and reduce socio-environmental damage, especially in productive and vulnerable regions.

Keywords: Geoprocessing; GIS; Eucalyptus; Forest fires; Ecosystem management.

Introdução

Incêndios florestais, incêndios acidentais desencadeados por fenômenos naturais ou atividades humanas, representam ameaças significativas em vários biomas, incluindo pastagens e florestas (Abatzoglou *et al.*, 2019). Os incêndios florestais, agravados pelo desmatamento e pelas mudanças climáticas, compreendem um problema global de grandes proporções (Agbeshie *et al.*, 2022). Modelos têm indicado que a extensão de incêndios tende a duplicar com o aumento da temperatura global a ultrapassar os 3°C, em comparação com 2°C, acima dos níveis pré-industriais (Abatzoglou *et al.*, 2019). Assim, o monitoramento em tempo real, a identificação de áreas mais vulneráveis a incêndios e a análise de impactos por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem contribuir de maneira significativa para o controle de incêndios e queimadas (Chen *et al.*, 2020). Os SIG podem processar dados de sensores de satélites (como os da NASA, INPE, Copernicus Sentinel) para identificar e mapear focos de calor, que podem indicar incêndios ou queimadas. Focos de calor detectados permitem identificar áreas com altas temperaturas e acompanhar a dinâmica do fogo, sendo, portanto, importantes no monitoramento de incêndios (Kato *et al.*, 2021). Embora não representem áreas efetivamente queimadas, os focos de calor servem como indicadores para estratégias de combate e prevenção (Oliveira, 2019). Diferentemente dos incêndios, as queimadas referem-se a queimas de áreas de vegetação nativa de maneira proposital (McCarty *et al.*, 2020).

No Brasil, as queimadas têm atingido níveis alarmantes: em 2020, foram registrados 6.048 focos no Pantanal e 89.604 na Amazônia (Mothé *et al.*, 2020). Neste contexto, emerge a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (Lei nº 14.944/2024), um marco na gestão de incêndios no Brasil, promovendo práticas sustentáveis, planejamento e o uso tradicional do fogo por comunidades (Brasil, 2024). Em meio a esta realidade quanto às queimadas, empresas de base florestal têm intensificado o monitoramento e a gestão de focos de calor para mitigar os impactos (Villamor *et al.*, 2023).

No Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, região do bioma Cerrado, a incidência de focos de calor é crescente (Alvarenga, 2023). Com clima seco e povoamentos florestais suscetíveis ao fogo, o monitoramento torna-se essencial para evitar grandes incêndios e queimadas (Nascimento e Novais, 2020). Nesse contexto, este estudo analisou a distribuição espaço-temporal dos focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba entre 2019 e 2024, cujos resultados visam fornecer subsídios para estratégias de prevenção e controle, com o intuito de proteger ecossistemas naturais, áreas produtivas e a economia local dependente da silvicultura.

1. Silvicultura no contexto do Triângulo mineiro

A mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no centro-oeste do estado de Minas Gerais, é composta por municípios como Uberlândia, Uberaba, Patos de Minas, Ituiutaba, Frutal e Araxá. 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 com média anual de 1.500 mm (Alvarez *et al.*, 2014).

A declividade da região, predominantemente plana, os solos profundos (latossolos) (Costa Fanalli *et al.*, 2024) e o clima favorecem a produção de diversas culturas vegetais. A mesorregião possui 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), pecuária 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, conhecido pela sua rápida taxa de crescimento e adaptabilidade a diferentes tipos de solo (Franco, 2020).

Este estudo focou na avaliação de um grupo de propriedades rurais da mesorregião arrendadas para à empresa Dexco S. A. para o cultivo de eucalipto (Figura 1). Para preservar a confidencialidade das localizações específicas das fazendas, optou-se por não revelar os nomes dos municípios. No entanto, as propriedades recobrem extensões de areais significativas para a produção e a comercialização associada à silvicultura (Figura 1).

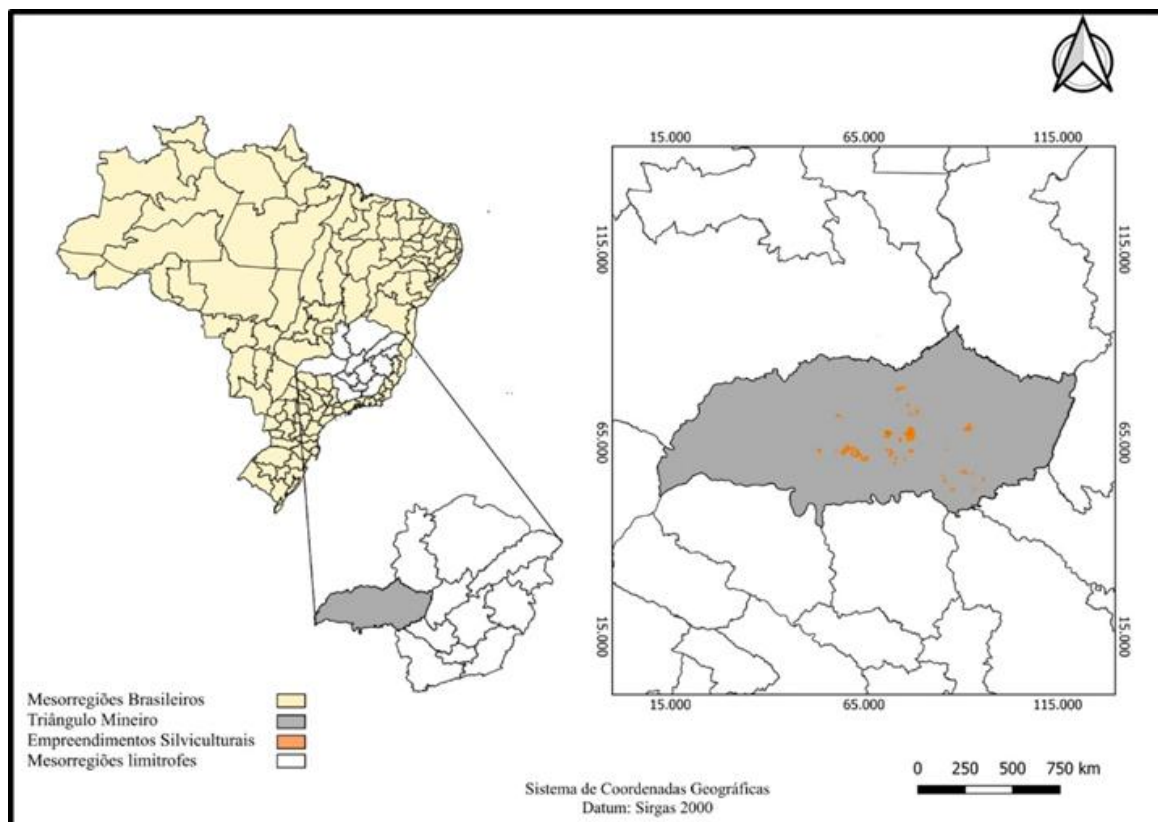


Figura 1: Mapa de localização da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e áreas silviculturais arrendadas da Dexco S. A.

Fonte: Autores, 2024.

2. Focos de calor utilizando a densidade de kernel

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 captadas pelos satélites GOES-16, NOAA-21, NPP-375, Terra_M-M e Aqua_M-T, considerados "satélites de referência" no monitoramento de queimadas (Viganó *et al.*, 2018). 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. Utilizou-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. A partir disso, obteve uma visualização adequada dos padrões de calor, após testes de adequação de acordo com premissas da literatura.

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:

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

Equação 1

Onde: $f(x)$ 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 (Figura 1), criando áreas tampão de 5 km (buffer) a partir dos centroides das respectivas fazendas, de modo a identificar as condições de risco de queimadas dentro e no entorno das empresas 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 foram 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. As análises foram realizadas no ambiente 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.

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

Tabela I: Concentrações dos focos de calor e sua susceptividade à severidade de incêndios/queimada florestais. Elaboração: os autores (2024).

Classes de Foco de calor	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

Elaboração: os autores (2024).

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. Cenário Silvicultural e o impacto climático

A distribuição espacial dos focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba para os anos entre 2019 e 2024 pode ser observada na Figura 2. A densidade dos focos de calor está representada por diferentes cores segundo classes elencadas na tabela I.

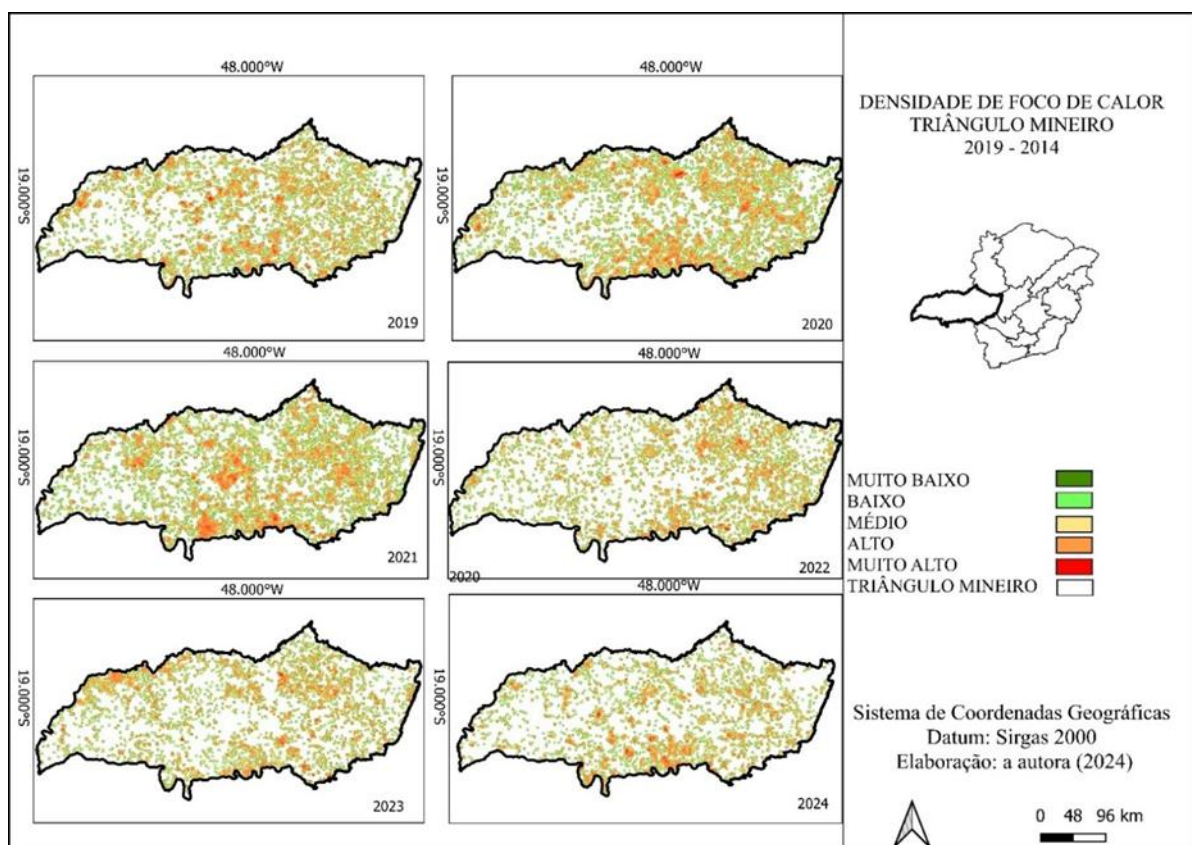


Figura 2: Densidade de foco de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba de 2019 até 2024.

Fonte: Autores, 2024.

Constatou-se uma concentração mais alta de focos nos anos de 2020 e 2021 nas porções centro, centro sul e leste da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. A maior concentração dos focos ocorre em áreas próximas aos povoamentos de eucalipto e regiões historicamente associadas ao pastoreio animal, 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 (queimadas), quando há a intenção deliberada em provocá-lo.

Em contrapartida, algumas áreas apresentam densidade de focos mais baixas, evidenciando uma menor incidência de queimadas e 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 queimadas.

Os gráficos de precipitação mensais confirmam uma proporção entre a os menores valores pluviométricos em determinadas épocas do ano e o aumento dos focos de calor (Figuras 3a a f). Em 2020 e 2021, os anos com menores índices pluviométricos, registrou-se um aumento nos focos de calor, especialmente nos meses de agosto e setembro. Durante esses meses, propagação de incêndios/queimadas florestais, com mais de 21 mil focos registrados em setembro de 2021 (Figuras 3b, 3c, Tabela 2 a tabela 2 não mostra incêndio, e sim focos de calor). Esses dados evidenciam a necessidade de um monitoramento contínuo, especialmente durante a estação seca, para prevenir incêndios em larga escala.

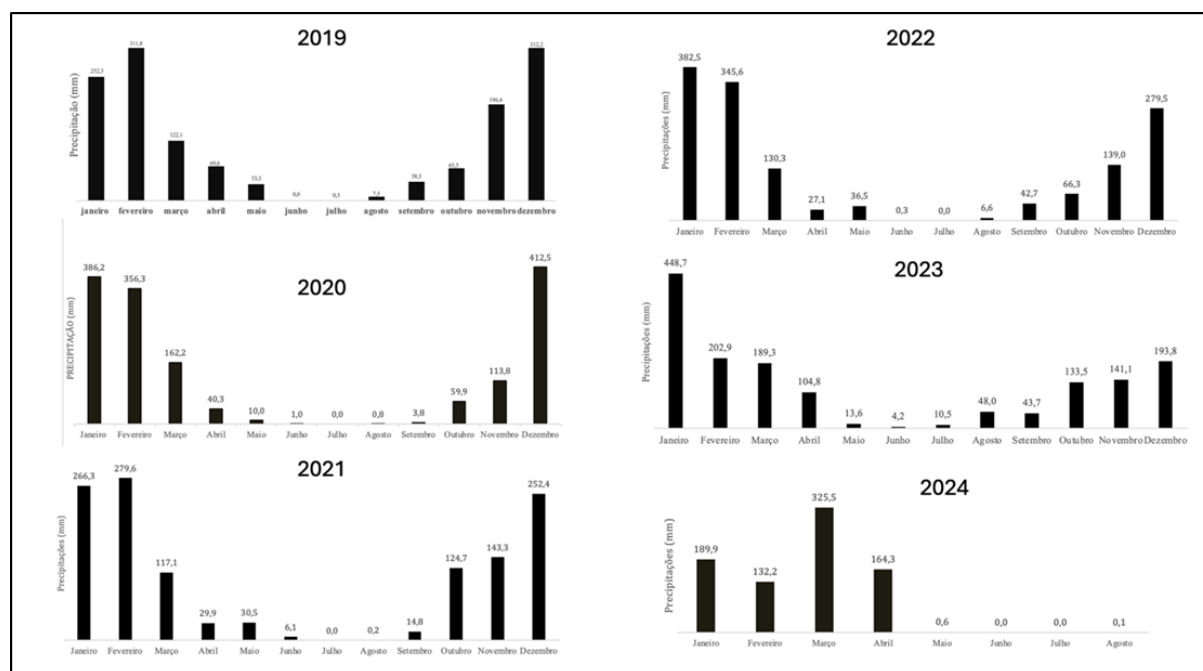


Figura 3: Média das precipitações (mm) mensais da região dos empreendimentos silviculturais – 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024.

Fonte: Autores, 2024.

Entre os meses de maio a agosto de 2024, a área dos projetos florestais passou pelo período mais severo de seca em relação aos anos anteriores (Figura 3f). 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/queimadas, prejudicando tanto o meio ambiente quanto as atividades econômicas da região.

Na Tabela II 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 II: Distribuição mensal de focos de calor na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba de 2019 – 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

Fonte: Autores (2024).

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.

O ano de 2021 apresentou um aumento, totalizando em 42.638 focos. Esse aumento pode estar associado a condições climáticas extremas, que aumentaram a suscetibilidade a incêndios em toda a região (Dias, 2023). 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.

A localização geográfica das fazendas com áreas de cultivo de eucalipto na mesorregião é apresentada na Figura 4. Estão distribuídas em diferentes municípios em regiões com alta concentração de focos de calor, 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).

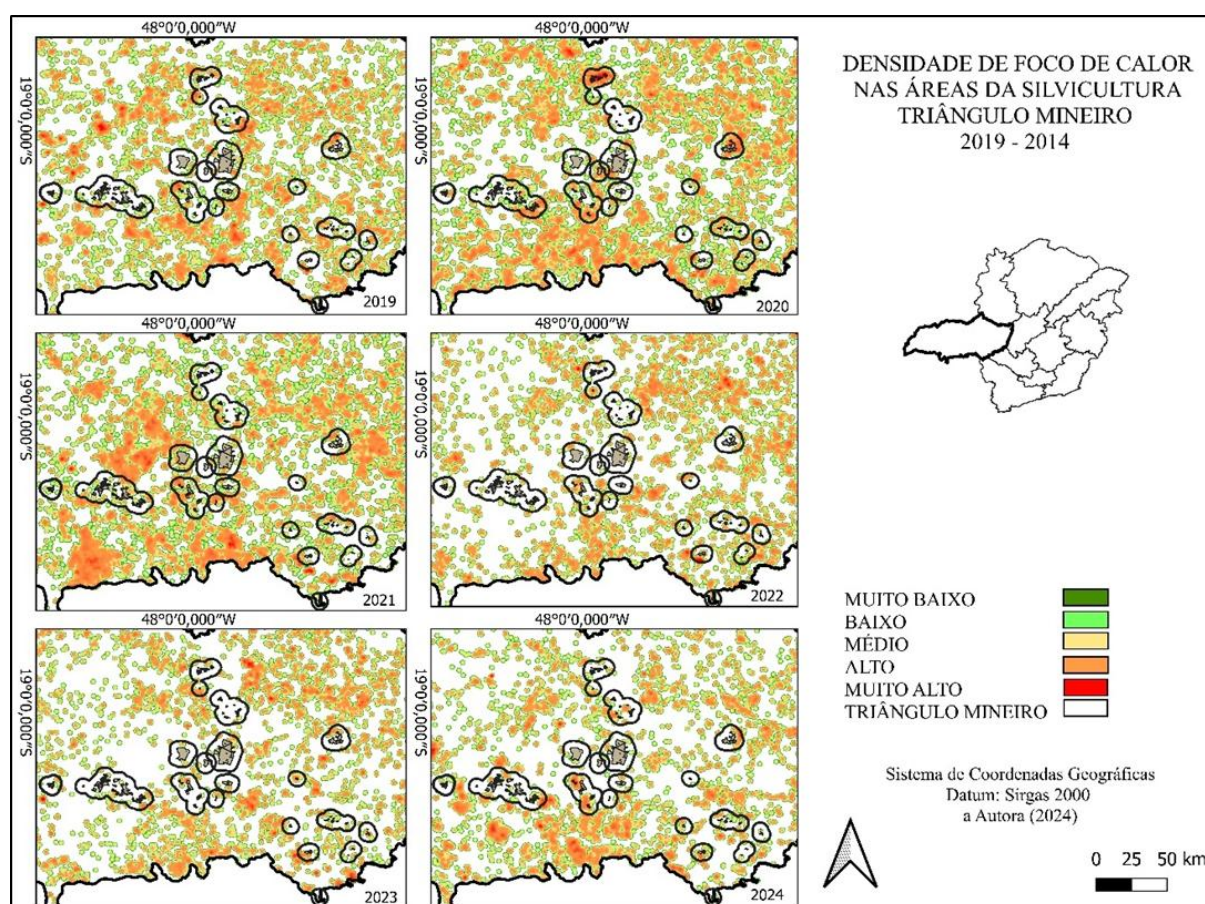


Figura 4: Mapa de focos de calor nas fazendas de eucalipto e áreas adjacentes aos empreendimentos.

Fonte: Autores, 2024.

A densidade dos focos de calor nos diferentes empreendimentos de silviculturas ao longo dos anos foi analisada. A ênfase ocorre em empreendimentos com maiores observações de focos de calor ao longo dos anos os quais foram selecionados para uma análise mais minuciosa (Figura 5). 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 D, em particular, apresentou uma densidade de focos mais elevada 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.

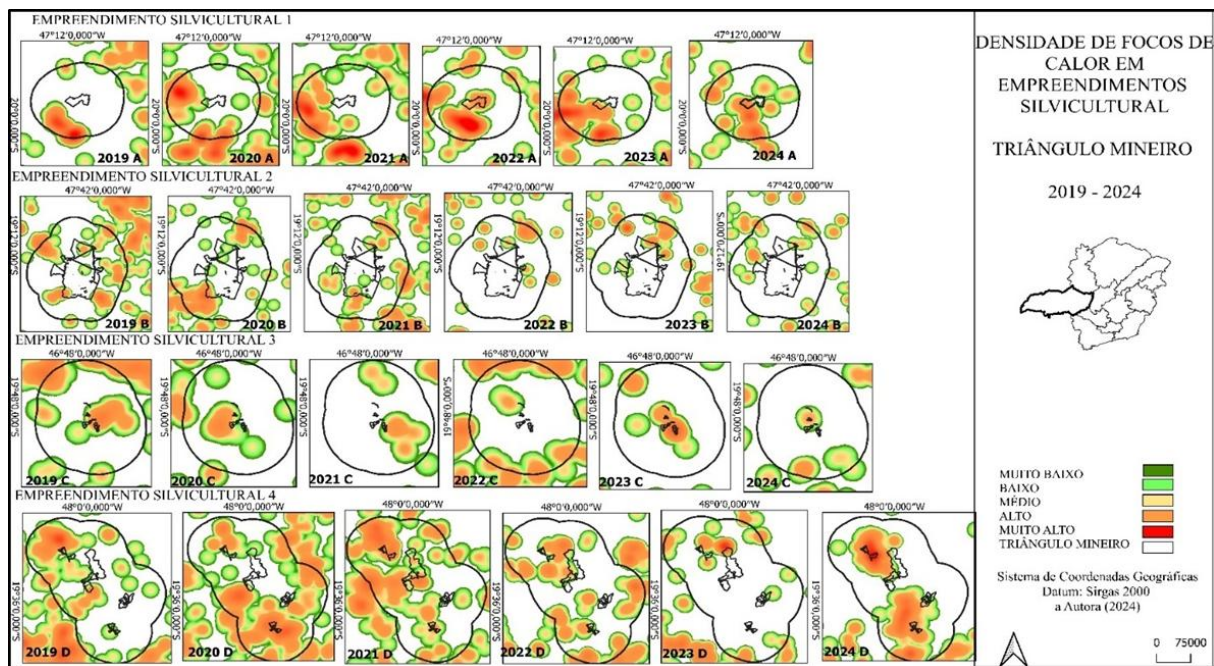


Figura 5: Densidade de focos de calor no contexto dos empreendimentos com cultivos de eucalipto. Empreendimentos (A); (B); (C); e (D), entre os anos de 2019 e 2024, respectivamente.

Fonte: Autores, 2024.

Os empreendimentos A, B e C apresentaram flutuações na densidade de focos de calor quando comparados, 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).

Informações sobre os empreendimentos no período de 2019 a 2024 quanto aos focos de calor são apresentados na tabela III. Os dados de focos de calor no empreendimento de silvicultura A indicam 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. O empreendimento de silvicultura B revela um padrão semelhante ao da silvicultura A, com um total de 344 focos em 2022 e uma queda para 84 em 2023, seguida por um nível de 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 III: Distribuição mensal de focos de calor no empreendimento de silvicultura 1, 2, 3 e 4 de 2019 a 2024.

Empreendimento de silvicultura A													
	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
Empreendimento de silvicultura B													
	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
Empreendimento de silvicultura C													
			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	-	-	-	-	-	-	30	-	32	-	-	-	64
2024	-	-	-	-	-	-	-	3	18	-	-	-	21
Empreendimento D													
	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

Elaboração: os autores (2024).

O empreendimento C apresenta números menores, houve um aumento no número de focos de calor ao longo dos anos, com um pico significativo em 2023, com 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. Dados do empreendimento D indicam 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 um potencial intensificação do problema.

Ao analisar os dados apresentados na tabela, 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.

Os empreendimentos A e B apresentaram números muito semelhantes de focos de calor, enquanto o empreendimento C registrou um número inferior. Em contraste, o empreendimento D 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) revelou padrões semelhantes de sazonalidade e distribuição espacial dos focos de calor, influenciados por fatores climáticos e pelo uso do solo em Uberaba (MG), com picos de incêndio a ocorrerem durante os meses de seca (maio a 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).

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.

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.

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.

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.

A tabela IV apresenta 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.

Tabela IV: Área em hectares atingidas por incêndios florestais de 2021 a 2024 nas áreas referentes aos empreendimentos silviculturais alvo deste estudo.

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

Elaboração: os autores (2024).

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.

Em 2021 (Figura 5) 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.

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.

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.

Conclusões

Este trabalho diagnosticou os focos de calor nas áreas adjacentes à empreendimentos voltados à silvicultura no Triângulo Mineiro. 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.

Agradecimentos

Agradecemos ao grupo de pesquisa NUPLAMFLOR – Núcleo De Estudos, Ensino E Extensão Em Planejamento E Manejo Da Paisagem e a empresa – UFU, Monte Carmelo. DEXCO S.A. e a Sala verde – CEFEC – Centro de Formação em Educação Climática – UFU, Monte Carmelo.

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não têm qualquer conflito de interesse relativo a este artigo.

Confidencialidade dos dados

Os autores declaram que seguiram os protocolos do seu trabalho na publicação dos dados de pacientes.

Financiamento

Este trabalho não recebeu qualquer contribuição, financiamento ou bolsa de estudos.

Disponibilidade dos Dados científicos

Não existem conjuntos de dados disponíveis publicamente relacionados com este trabalho.

Referências

- Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., Barbero, R. (2019). Global emergence of Anthropogenic climate change in fire weather indices. *Geophysical. Research Letters*, 46, 326–336. <https://doi.org/10.1029/2018GL080959>
- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *J. For. Res.* 33, 1419–1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alvarenga, K. L. (2022). Uso e ocupação do solo no Triângulo Mineiro e a relação com focos de queimadas de 2010 a 2020. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Uberlândia.
- Amaral, G. D. (2022). Concentração dos focos de calor no aspecto do uso e ocupação do solo: estudo de caso para o município de Uberaba – MG. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Uberlândia.
- BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm
- Costa Fanalli, A. C., Cunha, J. E., Silva, . M. A., França, L., Bravo, J. V. (2024). Fragilidade ambiental do Parque Estadual do Pau Furado e os impactos das atividades humanas em sua zona de amortecimento. *Nativa*, 12(2), 267-273. <https://dx.doi.org/10.31413/nat.v12i2.17139>
- Chen, X., Liu, L., Li, J., Ou, W. H., Zhang, Y. (2020). Application and research progress of fire monitoring using satellite remote sensing. *Journal of Remote Sensing (Chinese)*, 24(5), 531-542. <https://dx.doi.org/10.11834/jrs.20209118>
- Dias, B. A. S. (2023). Proposta para mapeamento dos riscos de queimadas e incêndios em Minas Gerais. 167f. Tese de Doutorado em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.8066>
- Franco, C. (2020). A expansão das florestas plantadas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3633>

- Guimarães, P. P., Souza, S., Fiedler, N., Silva, A. (2014). Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, 1(1), 38-60.
- Kato, S., Miyamoto, H., Amici, S., Oda, A., Matsushita, H., Nakamura, R. (2021). Automated classification of heat sources detected using SWIR remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102491. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102491>
- Köppen, W. (1918) Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*. Gotha, 64, 193-203.
- Machado, H. A., Rezende, P., Milagres, A., Gabriel, V., Fonseca, F. (2024). Metanálise da Produção Científica Sobre os Solos dos Municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba nos Últimos 30 Anos. *Sociedade & Natureza*, 36(1), e70461. <https://doi.org/10.14393/SN-v36-2024-70461>
- Menezes, E. S., Mucida, D., França, L., Aguilar, M., Pereira, I. (2019). Análise temporal de focos de calor na reserva da biosfera da serra do espinhaço. *Nativa*, 7(3), 256-261. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6877>
- Menezes, E. S., Mucida, D., Aguilar, M., Santos, A., Morandi, D., França, L. (2019). Uso de geotecnologias na análise de focos de calor em uma sub-bacia do semiárido mineiro. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 15(1), 56-61. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v15i1.1057>
- Mothé, R., Siqueira, J., Mendes Junior, A., Mothé, G. (2020). One Health pela perspectiva da saúde ambiental: incêndios florestais. *Enciclopedia Biosfera*, 17(34). Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2020D/one.pdf>
- Mccarty, J. L., Smith, T. E. L., Turetsky, M. R. (2020). Arctic fires re-emerging. *Nat. Geosci.*, 13, 658–660. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00645-5>
- Nascimento, D. T. F.; Novais, G. T. (2020). Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, 9(2), 1-39. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854>
- Oliveira, T. M. (2019). Monitoramento dos Focos de Calor e do Risco de Incêndios Florestais no Município de Ituiutaba-MG. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia.
- Parzen, E. (1962). Sobre estimativa de uma função de densidade de probabilidade e moda. *The Annals of Mathematical Statistics*, 33(3), 1065-1076.
- Rosenblatt, M. (1956). Comentários sobre algumas estimativas não paramétricas de uma função de densidade. *The Annals of Mathematical Statistics*, 27(3), 832-837.
- Rocha, R.; Güntzel, A. M. (2022). Análise do grau de severidade do incêndio ocorrido em 2020 na RPPN Engenheiro Eliezer Batista, Corumbá/MS. *Geofronter*, 8, 1-18. <https://dx.doi.org/10.61389/geofronter.v8.7100>
- Silva, R. O., Silva, R., Araújo, T., Silva, C., Oliveira, A., Oliveira, K. (2020). Sensoriamento Remoto na detecção e análise de focos de calor na bacia hidrográfica do Rio Munim. *Revista Cerrados*, 18(1), 373-388. <http://dx.doi.org/10.46551/rc24482692202006>

- Villamor, G. B., Wakelin, S. J., Dunningham, A., Clinton, P. (2023). Climate change adaptation behaviour of forest growers in New Zealand: an application of protection motivation theory. *Climatic Change*, 176(3). <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03469-x>
- Viganó, H., Souza, C., Cristaldo, M., Neto, J., Jesus, L. (2018). Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir das técnicas de análise multivariada. *Revista Ambiente & Água*, 13(5), e2024. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2024>

Artigo recebido em / Received on: 10/05/2025

Artigo aceite para publicação em / Accepted for publication on: 16/05/2025

Physis Terrae - Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente

<https://revistas.uminho.pt/index.php/physisterrae/index>