


ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS QUEIMADAS EM MINAS GERAIS PARA OS ANOS DE 2002 A 2022

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF FIRES IN MINAS GERAIS FROM 2002 TO 2022


ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS INCENDIOS EN MINAS GERAIS ENTRE LOS AÑOS 2002 Y 2022

Karen Vitória de Andrade¹

 0009-0007-6691-228X


karenvitoria15@outlook.com.br

Maria Eduarda Dias Pereira²

 0009-0004-9162-1925


maedppro@gmail.com

Jean Euzébio Lima Oliveira³

 0000-0002-0117-2758

jean.lima@sou.unifal-mg.edu.br

Paulo Henrique de Souza⁴

 0000-0003-0399-9123

paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br

1 Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6691-228X>. E-mail: karenvitoria15@outlook.com.br.

2 Graduanda em Geografia, Universidade Federal de São João del Rei. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9162-1925>. E-mail: maedppro@gmail.com.

3 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alfenas. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0117-2758>. E-mail: jean.lima@sou.unifal-mg.edu.br;

4 Orientador: Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0399-9123>. E-mail: paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br.

Artigo recebido em setembro de 2025 e aceito para publicação em novembro de 2025.

RESUMO: A queima da biomassa é um fenômeno recorrente que tem preocupado as autoridades de maneira mundial. De forma que, Minas Gerais conta com três biomas predominantes caracterizados pela Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. O estudo da análise espacial e temporal dos focos de queimadas para Minas Gerais no intervalo de tempo entre 2002 a 2022 revela que as áreas mais atingidas do Estado foram Norte de Minas, Noroeste de Minas, Jequitinhonha, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Fato este comprovado pelas imagens dos satélites Aqua e Terra que identificaram 256.209 focos de queimadas durante os anos analisados. Evidencia-se que o uso do Sistema de Informações Geográficas- SIG contribui para determinar o mapeamento das áreas queimadas e a sua espacialização garante um instrumento acessível para a fiscalização pelo poder público, protegendo a fauna e flora do Estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Focos de Calor. Biomas. Degradação Ambiental.

ABSTRACT: Biomass burning is a recurring phenomenon that has concerned authorities worldwide. Minas Gerais has three predominant biomes characterized by the Atlantic Forest, Cerrado, and Caatinga. The study of the spatial and temporal analysis of fire outbreaks in Minas Gerais between 2002 and 2022 reveals that the most affected areas of the state were Northern Minas, Northwestern Minas, Jequitinhonha, Triângulo Mineiro, and Alto Paranaíba. This fact is confirmed by images from the Aqua and Terra satellites, which identified 256,209 fire outbreaks during the years analyzed. It is evident that the use of the Geographic Information System (GIS) contributes to determining the mapping of burned areas, and its spatialization ensures an accessible tool for government oversight, protecting the fauna and flora of the state of Minas Gerais.

Keywords: Remote Sensing. Hotspots. Biomes. Environmental Degradation.

RESUMEN: La quema de biomasa es un fenómeno recurrente que preocupa a las autoridades de todo el mundo. Minas Gerais cuenta con tres biomas predominantes caracterizados por la Mata Atlántica, el Cerrado y la Caatinga. El estudio del análisis espacial y temporal de los focos de incendios en Minas Gerais en el intervalo de tiempo comprendido entre 2002 y 2022 revela que las zonas más afectadas del estado fueron el norte de Minas, el noroeste de Minas, Jequitinhonha, Triângulo Mineiro y Alto Paranaíba. Este hecho ha sido confirmado por las imágenes de los satélites Aqua y Terra, que identificaron 256 209 focos de incendios durante los años analizados. Se evidencia que el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) contribuye a determinar la cartografía de las áreas quemadas y su espacialización garantiza un instrumento accesible para la fiscalización por parte de las autoridades públicas, protegiendo la fauna y la flora del estado de Minas Gerais.

Palabras clave: Teledetección. Focos de calor. Biomas. Degradación ambiental.

INTRODUÇÃO

As queimadas, ou queima de biomassa, representam um dos principais processos de alteração ambiental em escala global, estando associadas tanto a causas naturais quanto antrópicas (Andreae, 1991). Globalmente, esse fenômeno tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionado por fatores climáticos, como o aumento das temperaturas médias e a redução da umidade, e por fatores antrópicos (Daniau *et al.*, 2012). A queima de vegetação resulta na emissão de gases e partículas, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e aerossóis, que contribuem para o aquecimento global, à má qualidade do ar e afetando na dinâmica dos ecossistemas (Chuvieco *et al.*, 2021). No contexto global, as queimadas se destacam entre as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa, ficando atrás apenas da queima de combustíveis fósseis (Van der Werf *et al.*, 2010; Medeiros *et al.*, 2025).

No Brasil, os processos de queimadas estão associados com práticas agrícolas e desmatamentos, embora sua dinâmica possa variar de escala espacial e temporal, conforme as condições meteorológicas como também os regimes climáticos regionais. Com a influência do aquecimento global, as queimadas têm se intensificado cada vez mais devido à alteração destas condições (Fasullo *et al.*, 2018). Estudos recentes apontam para um prolongamento da estação seca e um aumento na frequência dos eventos de fogo em grande parte da América do Sul, especialmente no sul da Amazônia e no Cerrado (Jones *et al.*, 2022), processo esse que poderá ocorrer com ou sem influência antrópica à medida em que os ecossistemas se encontram menos resilientes (Daniau *et al.*, 2012).

Fatores climáticos e topográficos influenciam diretamente a intensificação dos focos de queimadas, que atingem seu pico durante a temporada de seca, normalmente entre junho e setembro. A força e o aumento da queimada dependem exclusivamente da umidade, temperatura e da velocidade do vento (Nunes; Soares; Batista, 2006). O clima influencia diretamente as queimadas, pois a vulnerabilidade ao fogo é maior em locais com altas temperaturas e baixa umidades (Souto; Freitas; Martins, 2021).

Embora o clima possa gerar ambientes favoráveis à propagação do fogo a ignição ocorre principalmente por ações humanas, como a limpeza de áreas agrícolas, a formação de pastagens e o manejo inadequado do solo (Aragão *et al.*, 2016; Neto; Evangelista, 2022; Cruz, 2021).

Cada bioma reage às queimadas de maneira distinta, o que interfere diretamente no solo. Esses efeitos podem ser tanto positivos quanto negativos. Por um lado, o fogo pode beneficiar o solo ao aumentar certos nutrientes. No Cerrado, o fogo natural pode agir de forma positiva, pois o calor proporciona a abertura de sementes, facilitando a absorção de água e, conseqüentemente, a germinação (Bonani, 2016). Na Mata Atlântica, as espécies de vegetação não apresentam esse tipo de evolução. Essa falta de adaptação as torna extremamente vulneráveis (Singh; Huang, 2022). De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o bioma mais afetado do ano de 2021 foi o Cerrado, com 124.021 km² queimados, a Caatinga aparece com uma extensão territorial afetada de 22.282 km², também assim a Mata Atlântica com uma área de 19.203 km² queimadas.

Nesse sentido, Minas Gerais expõe uma diversidade de cobertura vegetal por todo o seu território, no qual em seu domínio apresenta biomas como o Cerrado, Mata Atlântica e a Caatinga. A Caatinga situada na porção norte de Minas Gerais e se estende em 6% na região mineira, a Mata Atlântica está posicionada na parte oriental que possui uma ocupação de 40% em toda sua extensão territorial, também assim o Cerrado, que é o bioma mais predominante de todo o estado, posicionado na parcela centro-ocidental se desdobrando numa faixa de 54% em toda sua localidade (IEF, 2022;

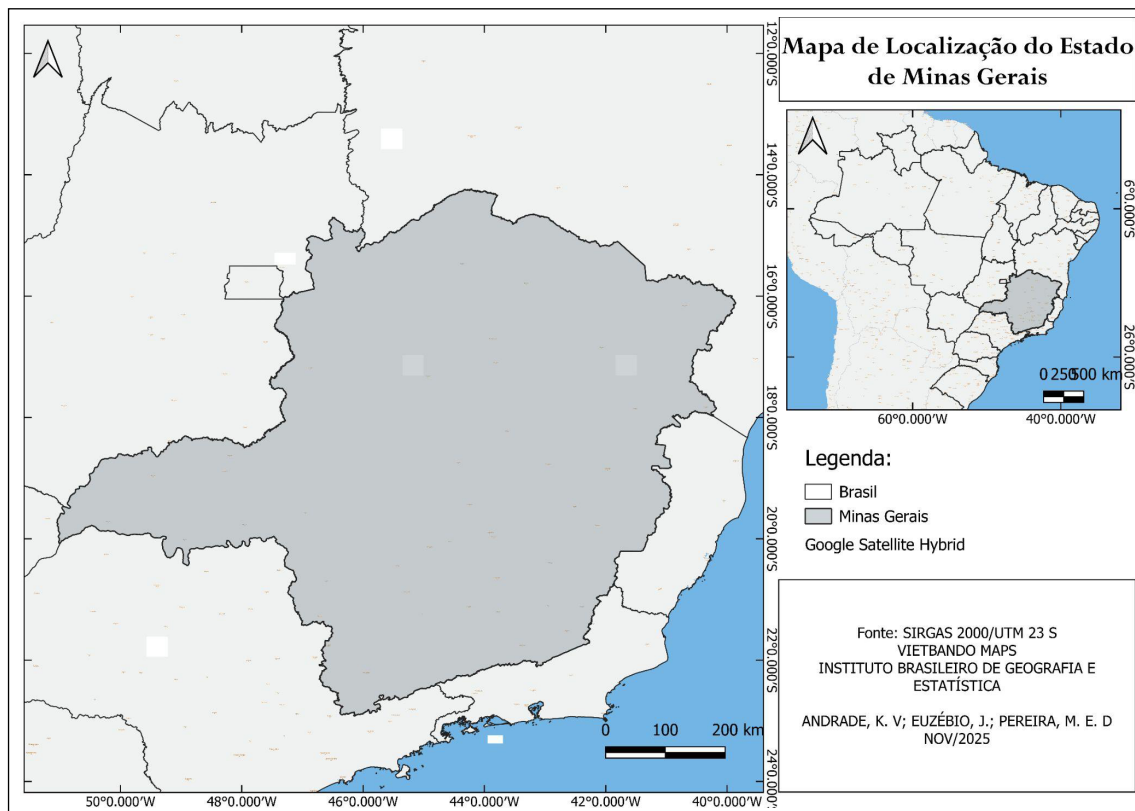
Coura, 2007). Percebe-se também uma grande variedade de atividades antrópicas especialmente para a área do sul de Minas e para o triângulo mineiro com o cultivo de café, soja e outras lavouras temporárias. Portanto, de maneira geral, o presente trabalho tem como objetivo analisar as queimadas de forma espacial no estado de Minas Gerais entre os anos de 2002 a 2022.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado de Minas Gerais (Figura 1) está situado na região Sudeste, localizado entre os paralelos de 14°13'58" S e 22°54'00" S e os meridianos de 39°51'32" W e 51°02'35" W. Sua extensão territorial é de 586.513,983 km², e faz fronteira com os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e o Distrito Federal. Em Minas Gerais, estão inseridas bacias hidrográficas relevantes, como as dos rios Pardo, Jequitinhonha, Mucuri, São Mateus, Doce, Paraíba do Sul, Tietê, Grande, Paranaíba e São Francisco (Igam, 2023). A área conta com um regime pluviométrico médio anual de 653 a 2050 mm, com temperaturas que variam entre todo o estado de Minas Gerais (Guimarães; Reis; Landau, 2010). É enquadrado sobre um clima de monção, com uma devolução sazonal numa circulação com escala elevada, motivado pelo aquecimento dos oceanos e os territórios por todo o globo terrestre (Bombardi; Carvalho, 2008), sendo considerado um clima quente no qual aumento de temperatura e tempo considerado seco favorecem o aumento de queimadas.

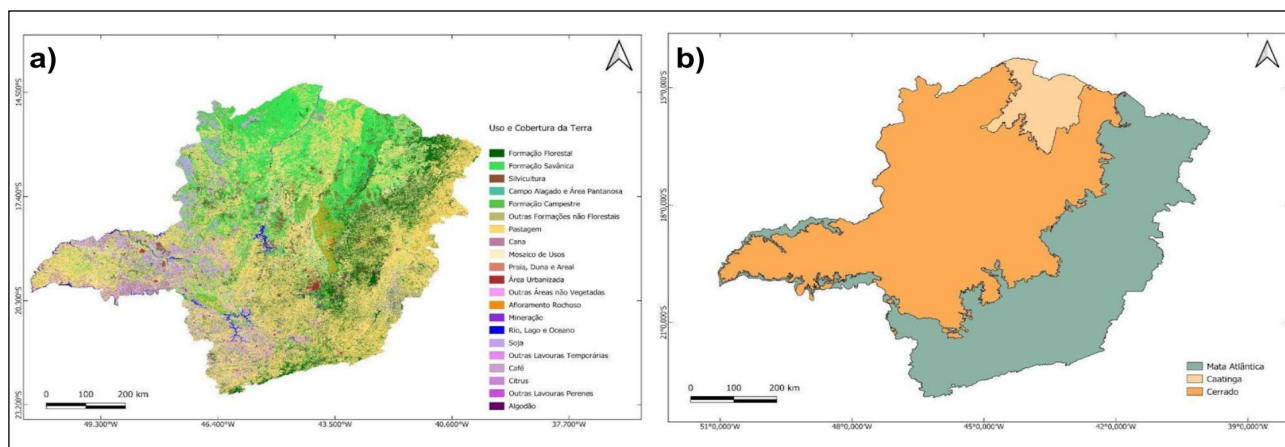
Minas Gerais conta com doze mesorregiões composto pelo Campo das Vertentes, Central Mineira, Jequitinhonha, Metropolitana de Belo Horizonte, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Oeste de Minas, Sul e Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e a Zona da Mata, contando com 853 municípios.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, o Estado de Minas Gerais.

A classificação do uso e cobertura do solo demonstra uma paisagem com diferentes classes, incluindo: floresta, savana, campo alagado, afloramento rochoso e corpos hídricos. Entre as categorias de uso antrópico, ressaltam-se a agropecuária, o mosaico de usos, café, cana e soja, além de outras lavouras. A predominância das classes de formação florestal e agropecuária (MapBiomas, 2025) demonstram que, apesar da riqueza natural ser predominante sobre o território, há uma crescente pressão antrópica, resultando numa fragmentação da paisagem (Figura 2a).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 2. (a) Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2021; (b) Mapa do Bioma do Estado de Minas Gerais do ano de 2019.

Em Minas Gerais, as diferentes formas de vegetação, somadas à sua altimetria, ao solo e ao clima, resultam em paisagens diversas, que se distribuem nos domínios de três biomas distintos: o Cerrado, a Mata Atlântica e a Caatinga (Figura 2b). O bioma do Cerrado é o que apresenta maior predominância sobre as demais, as estações seca e chuvosa são determinadas, já a Mata Atlântica dispõe de uma vegetação densa, por influência do seu regime pluviométrico (IEF, 2021) e o domínio da Caatinga apresenta pouca extensão territorial sobre o Estado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados de focos de calor para o período de 2002 a 2022, fornecidos pelo BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados foram previamente organizados em escala diária e, posteriormente, organizados em uma base de dados anual. Na tabela de atributos disponibilizada, foram fornecidos dados tais como: data, hora, satélite, país, estado, município, bioma, dias sem chuva, precipitação, risco de fogo, latitude e longitude.

A aquisição dos dados de focos de calor foi realizada por meio dos satélites Terra e Aqua, no qual operam com o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), sendo considerados os satélites mais relevantes no planeta Terra. Nesse viés, os produtos utilizados foram os MOD14 (Terra) e MYD14 (Aqua), com resolução espacial variando entre 250 a 1000 metros, sendo centrados nos 4µm e 11µm. Os produtos diferenciam áreas com fogo, sem fogo e sem observação, e as áreas observadas variam entre níveis de confiança. Esses produtos foram disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

Os dados adquiridos para o mapa de uso e cobertura foram obtidos pela Coleção 7.1 originados pelo MapBiomas, assimilados pela plataforma do Google Earth Engine, no qual foi necessário a produção e a composição de scripts para o estudo e expor os resultados através do script, em que foi utilizado para a pesquisa somente o uso do shapefile do Estado de Minas Gerais e o ajuste da legenda fornecido pelo próprio site do MapBiomas. No programa Qgis foram exportados os dados do ano de 2021 pelo sensor Landsat, com base nisso foram realizadas classificações que precederam o mapa de uso e cobertura da Terra. As informações do mapa de biomas foram obtidas pelo MapBiomas, disponibilizado para o ano de 2019 em que somente foi necessário o recorte da camada no programa do QGIS.

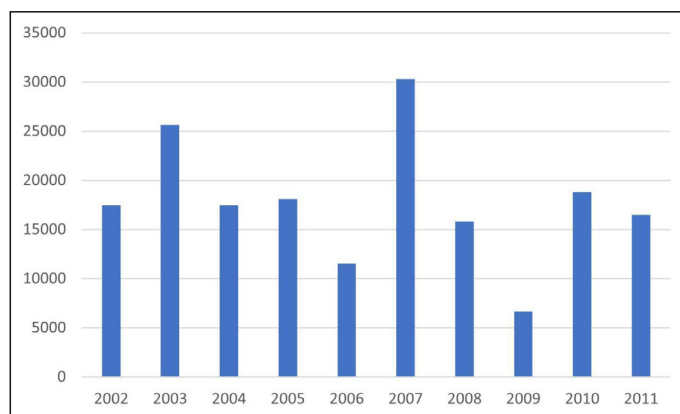
De início foram utilizados materiais de focos de queimadas incluídos pelo satélite Terra designados no banco de dados da respectiva pesquisa, foram realizadas pesquisas desses focos no Estado de Minas Gerais. Os satélites geram focos de queimadas propostos em séries temporais diárias. Ao gerar o banco de dados, foi necessário estabelecer os focos em vinte períodos diferentes, ademais foram estimados os focos para os anos de 2002 a 2022, para uma análise concisa e objetiva. Dessa maneira, para que se tenha o conhecimento e a visibilidade prévia, os dados obtidos foram especializados e vetorizados pelo QGIS, repercutindo em mapas temáticos.

RESULTADOS

A análise temporal e espacial dos focos de queimadas em Minas Gerais, entre os anos de 2002 a 2022 evidenciam mudanças significativas na distribuição desses eventos ao longo do tempo e entre as mesorregiões representadas pelo estado. Conforme detalhado nas Figuras 3 e 4, que ilustram a distribuição anual dos focos, os maiores índices de ocorrência no período analisado sucederam-se em 2003, 2007 e 2010.

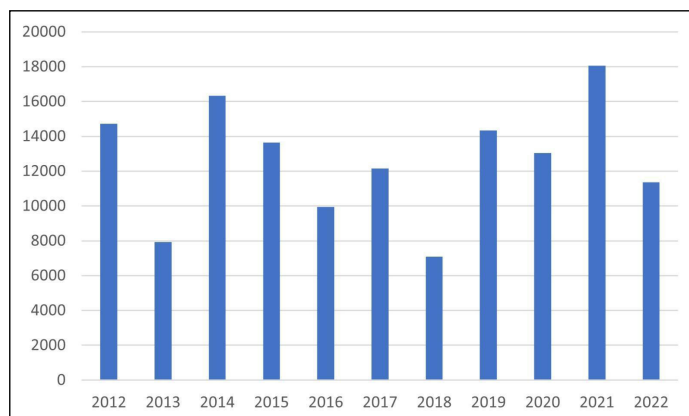
A aplicabilidade da técnica de densidade de kernel (representadas nas Figuras 5 e 6) permite a identificação de áreas com maior concentração de queimadas e, portanto, de locais mais vulneráveis à ocorrência de focos. Ao espacializar os focos de calor sobre o mapa de uso e cobertura, observa-se que a expansão da agricultura que está atuando sobre o estado é um fator indutor, resultando em um aumento de áreas queimadas.

No período analisado, os satélites identificaram 256.209 focos de queimadas, que ocorreram nos biomas do estado: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. As maiores ocorrências foram observadas em formações florestais, áreas urbanas e nas pastagens. Os picos de atividades concentram-se nos períodos mais secos, quando a baixa umidade relativa do ar e a velocidade do vento propiciam a propagação do fogo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 3. Distribuição temporal dos focos de queimadas para os anos de 2002 a 2011.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 4. Distribuição temporal dos focos de queimadas para os anos de 2012 a 2022.

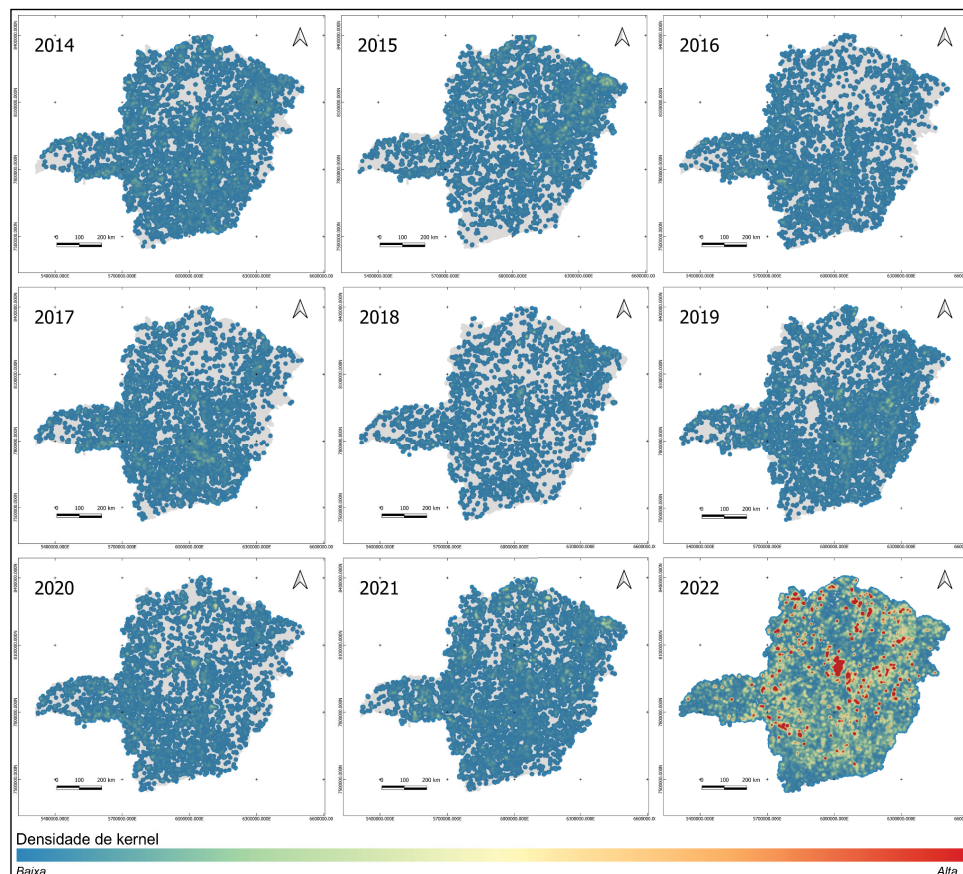
No ano de 2002 (Figura 5), foram registrados 17.428 focos de calor, concentrados preponderantemente nas mesorregiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha e Triângulo Mineiro. Nestes locais, as queimadas afetam tanto formações florestais quanto vegetações naturais não florestais, sendo estimuladas por períodos de seca prolongados. Em 2003, por sua vez, foi registrado um aumento de focos significativos, especialmente nos biomas da Mata Atlântica e no Cerrado. Esse aumento está relacionado à retirada da cobertura vegetal e na colheita da cana-de-açúcar, sendo motivado exclusivamente pela ação antrópica.

Em 2004, foram registrados 17.452 focos de calor, localizados principalmente nas porções norte da Mata Atlântica e Cerrado. No ano seguinte (2005), houve um decréscimo de queimadas, porém, os mesmos biomas permaneceram como os mais impactados. Em 2006, o número de registros diminuiu ainda mais, para 11.538 focos, com destaque para a Caatinga e o Cerrado. Já em 2007 apresentou o maior número de ocorrências para todo o primeiro período analisado, com 30.296 queimadas, que atingiram fortemente os três biomas do Estado. Nos anos seguintes, 2008 e 2009, notou-se uma redução significativa, sendo 2009 o período com menor registro de focos entre 2002 e 2011.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 5. Espacialização dos focos de calor para os anos de 2002 a 2013.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 6. Espacialização dos focos de calor para os anos de 2014 a 2022.

Durante o ano de 2010, o número de focos voltou a aumentar consideravelmente no Cerrado e na Caatinga, totalizando 18.788 focos de queimadas por toda a extensão do estado. No ano seguinte (2011) houve uma redução considerável em comparação com o ano anterior, com 16.489 focos. Em síntese, os anos mais afetados deste primeiro período analisado (2002-2011) foram 2003 e 2007. As mesorregiões mais atingidas foram Norte, Noroeste, Jequitinhonha, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

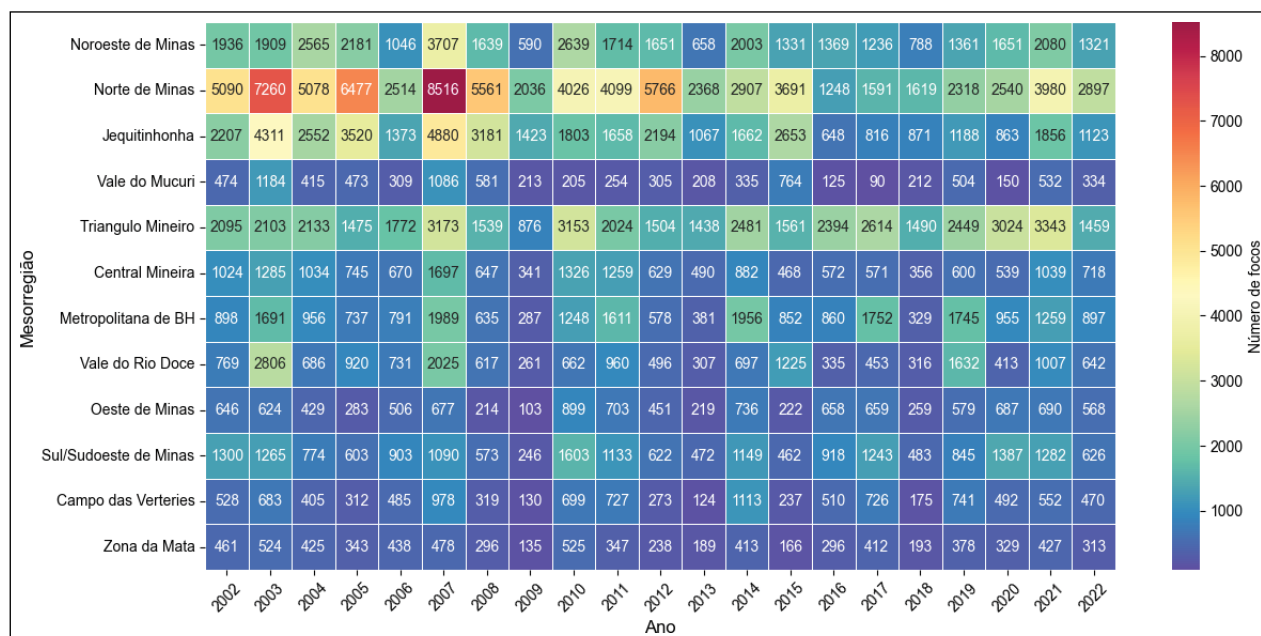
O segundo período de análise (2012 a 2022) iniciou com 2012, que registrou um aumento considerável de focos de incêndios. As mesorregiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha, Central Mineira, Sul-Sudoeste de Minas apresentaram evidências relevantes nesse ano. Já em 2013, houve um decréscimo, com 7.921 queimadas contabilizadas. No ano seguinte (2014), as queimadas voltaram a ser evidentes nas regiões Metropolitana de Belo Horizonte, Norte, Noroeste, Jequitinhonha e Triângulo Mineiro e Sul-Sudoeste de Minas, configurando um acréscimo considerável em comparação com 2012 e 2013. Nos dois anos subsequentes (2015 e 2016), houve uma redução significativa em relação aos demais anos retratados.

A Figura 6 ilustra que 2017 obteve um aumento pequeno dos focos em comparação com 2016, com relevância para o Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. O ano de 2018, por sua vez, teve o menor registro de focos de queimadas do período estudado, correspondendo a 7.091 focos. Em 2019, obteve-se um destaque considerável de focos nas regiões de Norte de Minas e Região Metropolitana de Belo Horizonte, de forma que as queimadas afetaram pastagens, formações

florestais e formação savânica, indicando uma pressão antrópica sobre o território. Em 2020, houve uma diminuição de focos comparada com o ano anterior. Em contrapartida, no ano de 2021 verificou-se o aumento das queimadas, chegando a 18.047 focos. No ano seguinte (2022) registrou uma diminuição, demonstrando a oscilação dos focos.

Dessa forma, a região norte do Estado, incluindo o Jequitinhonha e Mucuri, apresenta pouca incidência de chuvas durante o ano, sendo considerada uma região que sofre períodos de estiagem severos e, consequentemente, é a mais afetada pela falta de chuvas. O Cerrado é considerado um bioma com vegetação que incendeia facilmente em temporada seca (Durigan; Ratter, 2016). Isso ocorre porque o bioma apresenta um clima com estações secas e posteriores chuvosas, favorecendo a queima, o que torna essas regiões expostas às queimadas (Alvarenga, 2022). Logo, apesar do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba estar inserido em uma área com estações secas e chuvosas (Mello *et al.*, 2007), a região está localizada em um bioma com alta incidência de focos de incêndios durante o ano, o que explica as queimadas.

Para todos os anos estudados, as áreas mais afetadas foram as formações florestais, formações savânicas e as pastagens. Isso leva ao fato de que as queimadas são consideradas uma das maiores emissoras de CO₂, no contexto em que são causadas pelo crescimento das fronteiras agrícolas, onde as queimadas servem para a limpeza de terrenos e queima da matéria orgânica. No gráfico analisado (Figura 6) é constatado que as regiões menos afetadas foram Zona da Mata, Oeste de Minas e Campo das Vertentes, visto que as três regiões apresentam precipitação relativamente alta, o que contribui para a diminuição de queimadas.



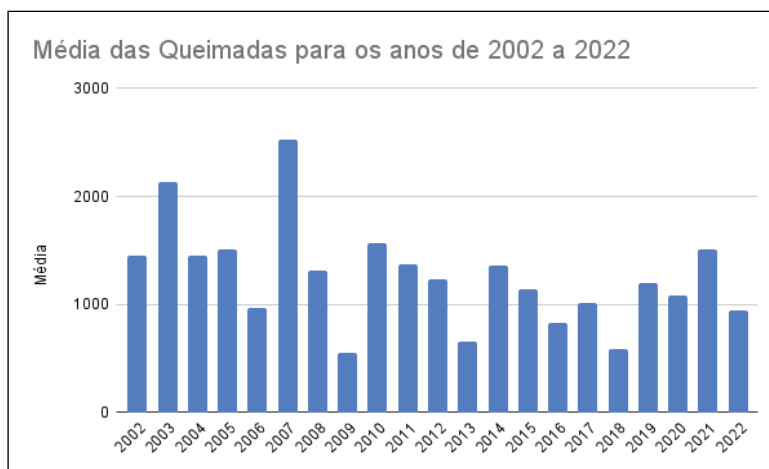
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 6. Heatmap representativo das mesorregiões afetadas por focos de queimadas dos anos de 2002 a 2022.

A média para todos os anos estudados é de 1.257 focos de queimadas por todo o Estado de Minas Gerais. Durante o ano de 2002 houve uma média de focos estimados em 1.452, e no ano de 2003 apresentou um aumento na média de queimadas. Entre os anos de 2004 a 2005 não houve mudanças consideráveis de focos, mantendo-se com médias aproximadas. No ano de 2006 verificou-se uma

diminuição da média, e no ano de 2007 foi considerado o ano com o maior aumento na média de focos de queimadas. Ao analisar os anos seguintes (2008 e 2009) com sua média redução acentuada de focos, sendo 2009 o ano que teve menos focos de calor registrados, com sua média determinada em 553. O ano de 2010 registrou um aumento, porém nos anos seguintes (2011, 2012 e 2013) houve uma redução na média de focos, comparado com 2010.

No ano de 2014 houve o retorno do aumento do número de queimadas, porém é possível verificar a diminuição dos focos de calor para os anos de 2015 e 2016. Nos anos posteriores de (2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022) observa-se uma oscilação da média dos focos, com os satélites registrando a menor incidência em 2018 e o maior registro em 2021. Em geral, observa-se que há uma diminuição dos focos a cada 3 anos a partir de um ano de pico, como é o caso de 2006, 2009, 2013 e 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 7. Média de focos detectados pelos satélites Aqua e Terra, para o Estado de Minas Gerais para os anos de 2002 a 2022.

DISCUSSÃO

Quanto aos marcos mais significativos, o ano de 2010 foi marcado por uma seca extensa e anomalias pluviométricas significativas na região Amazônica e áreas adjacentes, reduzindo a umidade do combustível e ampliando a propagação de incêndios. As secas induzidas neste ano foram causadas pelo aquecimento do Oceano Atlântico Norte. Elas podem ser ainda mais intensificadas quando já existe um déficit hídrico prévio (Marengo *et al.*, 2011). A década de 2010 é uma das mais relevantes para o estudo climático, especialmente devido aos déficits extremos de chuva. No entanto, os impactos reais dessas secas no estado ainda precisam ser melhor compreendidas (Petrucci; Oliveira; Silva, 2022).

Em escala nacional e regional, a relação entre secas intensas e aumento de focos foi também documentada por Júnior *et al.* (2019), que analisaram as respostas de incêndios às secas de 2010 e 2015/2016 e mostraram que eventos de seca geram anomalias positivas significativas em detecções de fogo, com claras implicações para emissões e área queimada. No entanto, apesar de 2015 ter passado da média de 1000 detecções, ainda foi abaixo dos valores observados para os anos anteriores, com exceção de 2013, mesmo que as secas registradas para o estado, nesse intervalo, tenham sido agudas (Silva, 2020).

Os padrões espaciais e temporais observados para Minas Gerais entre 2002 e 2022 são consistentes com os resultados encontrados por Marinho *et al.* (2021), que identificaram aumento

significativo na tendência de focos de queimadas no estado entre 1998 e 2015, com destaque para as mesorregiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha e Triângulo Mineiro. Os autores demonstram que o comportamento do fogo está fortemente relacionado às condições meteorológicas, como déficit de precipitação e aumento da temperatura, além de práticas socioeconômicas e ambientais associadas ao manejo de pastagens e à expansão agropecuária. A combinação desses fatores resultou em um padrão espacial de maior intensidade durante o inverno e a primavera, coincidindo com os períodos secos do ano e com as transições abruptas associadas a episódios de El Niño e La Niña, o que é especialmente relevante para a porção da Caatinga, onde os impactos são ainda maiores quando diversos fenômenos climáticos ocorrem ao mesmo tempo (Carmo *et al.*, 2025).

Arruda *et al.* (2024) mostrou uma mudança progressiva no regime de fogo, com deslocamento do pico da estação de queimadas de julho-setembro para agosto-outubro e aumento expressivo no tamanho médio dos fragmentos queimados. No norte do Cerrado foi verificado um aumento da suscetibilidade ao fogo em função da expansão agropecuária, ao passo que regiões mais consolidadas, apresentaram queda nos eventos. Assim, a intensificação do fogo observada por Marinho *et al.* (2021) pode ser interpretada como parte desse processo de reconfiguração espacial e temporal, em que o uso do solo vai ter impacto direto nessas dinâmicas, mesmo com o clima sendo um dos principais precursores.

Além do fator climático que relaciona-se às variabilidades climáticas de curto e médio prazo, como é o caso do El Niño Oscilação Sul (ENOS), considera-se ainda o impacto da recuperação da biomassa. Para o Cerrado, espera-se que, para as fitofisionomias relacionadas às savanas, mais presentes no norte do estado, a falta ou presença moderada das queimadas pode aumentar o NDVI de maneira constante. Em contraponto, queimadas muito recorrentes podem causar quedas à longo prazo (Santana, 2018), o que pode ser uma das razões para as quedas verificadas. Ainda deve-se levar em conta que, para a recarga do combustível a ser queimado, o clima vai exercer diferentes papéis. Por exemplo, as funções da precipitação na estação seca e na úmida são diferentes, sendo, respectivamente, relacionadas à quantidade de combustível disponível e à probabilidade de queima (Alvarado *et al.*, 2017).

Quanto ao norte do estado, Sá *et al.* (2018) apontam que, com as mudanças climáticas, mesmo que qualquer tipo de intervenção seja realizada, o balanço hídrico ainda será diretamente afetado. Entre todas as atividades, a produção agrícola apresentou o menor desempenho para a maioria das sub-bacias incluídas na bacia do Rio Verde Grande, sendo a atividade mais vulnerável à essas alterações, que tendem cada vez mais a se intensificar. Dentro do contexto deste estudo, evidencia-se a possibilidade de aumento dos eventos cada vez mais fora de controle, especialmente aqueles em áreas cada vez mais suscetíveis.

Apesar dos fatores naturais, a atividade antrópica desempenha papel fundamental na distribuição espacial dos focos observados. Na porção do Cerrado contida no estado de São Paulo, mesmo que o pico da frequência seja relacionado ao atraso da estação seca, aproximadamente 44% da variação das áreas onde houve a queimadas são explicadas por fatores antrópicos (Conciani *et al.*, 2021). Além disso, os incêndios de origem antrópica ocorrem majoritariamente durante a estação seca, indo à contramão daqueles de origem natural, característicos do bioma (majoritariamente originados durante outubro e novembro, com o início da estação chuvosa) (Klink *et al.*, 2020).

Vale ainda considerar que deve ser realizado maior aprofundamento quanto ao tamanho dos incêndios, pois, quanto ao Cerrado, períodos longos de abstinência podem levar a eventos mais extremos do que o esperado, o que indica que a completa exclusão ou prevenção relacionada às

queimadas é ineficiente quanto à perspectiva da preservação ambiental (Conciani *et al.*, 2021). A política de exclusão do uso do fogo também levou a um aumento na ocorrência de eventos catastróficos a cada 3 a 4 anos no Parque Nacional das Emas, inserido no contexto do Cerrado, em função do acúmulo da biomassa seca (Neto; Pivello, 2000).

Além disso, apesar de haver diversos estudos relacionados ao regime de fogo no Cerrado, ainda existem diversas lacunas a serem preenchidas a respeito dessa dinâmica e da profundidade destes impactos na Mata Atlântica, incluindo nos impactos da estrutura da vegetação, à medida em que há o aumento da frequência e da intensidade das queimadas em função dos diversos fatores anteriormente citados. Isso deve ser melhor investigado especialmente em função de que suas espécies não são adaptadas ao fogo, em maioria (Singh; Huang, 2022), e também devido ao fato de que as pastagens no estado estão majoritariamente concentradas em sua área de ocorrência, onde a prática do fogo é comum (Vieira *et al.*, 2016).

CONCLUSÕES

O propósito do trabalho foi realizar a análise de distribuição espacial e mensurar os focos de queimadas no estado de Minas Gerais para os anos de 2002 a 2022, conclui-se que a região está sofrendo intensa ação antrópica, evidenciada pelo avanço da agricultura, pela retirada da cobertura vegetal e pelos incêndios criminosos. De maneira que, os maiores focos de queimadas registrados estão sobre as regiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha, Metropolitana de Belo Horizonte e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, mesorregiões que são apontadas como áreas que passam por períodos de estiagem e a expansão da agricultura.

A quantidade de focos de queimadas gerados no estado de Minas Gerais contribui para a transmissão de gases prejudiciais para a natureza, tendo como consequência mudanças climáticas consideráveis, tanto em escala regional quanto mundial. A utilização do Sistema de Informações Geográficas contribui para que haja o mapeamento das áreas queimadas, auxiliando as autoridades competentes a realizarem a fiscalização necessária e colaborando para a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais para prevenir novos desastres ambientais com o uso dessa ferramenta.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, S. T. et al. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270–281, jul. 2017.
- ALVARENGA, K.L., K. L. D. A. **Uso e ocupação do solo no Triângulo Mineiro e a relação com focos de queimadas de 2010 a 2020**. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Abril/2022.
- ANDREAE, M. O. Biomass burning: its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: LEVINE, J. S. (org.). **Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1991. p. 3–21.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; LIMA, A.; ARAI, E. Fires in Amazonia. In: NAGY, L.; FORSBERG, B. R.; ARTAXO, P. (Eds.). **Interactions between biosphere, atmosphere and human**

land use in the Amazon Basin. Heidelberg, Germany: Springer, 2016. p. 301–329.

ARRUDA, V. L. S. et al. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). **Fire Ecology**, v. 20, n. 1, 31 jul. 2024.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. Variability of the monsoon regime over Brazil: the present climate and projections for a 2xCO₂ scenario using the MIROC model. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, 58-72, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000100007>.

BONANI, Nathalia. **O papel do fogo nas sementes de leguminosas arbóreas de Cerrado e floresta.** 2016. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/43dcdecf-38f8-41db-aac8-e69bea690bd4/content>. Acesso em: 9 nov. 2025.

CARMO, I. R. F.; JÚNIOR, A. R. S.; ARAÚJO, P. S.; JUNIOR, C. H. L. S. Desmatamento, Incêndios Florestais e Secas Extremas no Bioma Caatinga, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 05, p. 3543–3557, 2025. DOI: 10.26848/rbgf.v18.05.p3543-3557. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/264424>. Acesso em: 9 nov. 2025.

CHUVIECO, E. et al. Human and climate drivers of global biomass burning variability. **Science of the Total Environment**, v. 779, p. 146361, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146361>. Acesso em: 29 ago. 2025.

CONCIANI, D. E. et al. Human-climate interactions shape fire regimes in the Cerrado of São Paulo state, Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 61, p. 126006, 1 jun. 2021.

COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando os dados Modis.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - São José dos Campos: INPE, 2007.

CRUZ, W. T. **Análise espaço-temporal da correlação entre queimadas, áreas de pastagem e produção bovina no estado de Rondônia entre os anos de 2002 a 2016.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Rondônia, 2021.

DANIAU, A.-L. et al. Predictability of biomass burning in response to climate changes. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 26, n. 4, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2011GB004249>. Acesso em: 29 ago. 2025.

DA SILVA CARDOZO, F.; et al. Análise espacial das queimadas e seus impactos em Minas Gerais para o ano de 2014. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 66, p. 35–54, 2018. DOI: 10.14393/RCG196603.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 11–15, 2016. DOI: 10.1111/1365-2664.12559.

FASULLO, J. T. et al. ENSO's changing influence on temperature, precipitation, and wildfire in a warming climate. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 17, p. 9216–9225, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018GL079022>. Acesso em: 2 maio 2025.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. dos; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais.** Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 16 f. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 30). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/879085/1/Bol30.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Minas Gerais:** Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>

mg.html. Acesso em: 2 nov. 2025.

IEF - INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS. **Áreas Prioritárias: Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e Ecossistemas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IEF, 2021. 162 p. (Projeto Áreas Prioritárias: PSCRMG – Planejamento Sistemático da Conservação e da Restauração da Biodiversidade e dos Serviços Ambientais dos Biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica em Minas Gerais).

IEF - Instituto Estadual de Florestas. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 11 de jul. 2023.

IGAM-INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Mapa de Circunscrições Hidrográficas de Minas Gerais** - 2023. Belo Horizonte: Igam, 2023. 1 mapa, color. Escala: 1:100.000. Disponível em: Mapas das Bacias Hidrográficas de Minas Gerais - Igam - SISEMA. Acesso em: 02 nov. 2025.

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento dos Focos Ativos por Estado**. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/. Acesso em: 12 de julho de 2023.

JONES, M. W. et al. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. **Reviews of Geophysics**, v. 60, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>. Acesso em: 29 ago. 2025.

JUNIOR, C. H. L. et al. Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. **Frontiers in Earth Science**, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00097/full>

KLINK, C. A. et al. The Role of Vegetation on the Dynamics of Water and Fire in the Cerrado Ecosystems: Implications for Management and Conservation. **Plants**, v. 9, n. 12, p. 1803, 18 dez. 2020.

MAPBIOMAS. **Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. [S. l.]: MapBiomas, 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

MARINHO, A. A. R. et al. Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of environmental management**, v. 280, p. 111707–111707, 1 fev. 2021.

MEDEIROS, M. E. N. O. de; SIMÕES, A. da S.; REGALA, P. D. S.; SOUZA, C. P. de. Cenários climáticos e fatores antropogênicos no semiárido brasileiro: emissão de CO₂, seca, desmatamento e queimadas. **Cuadernos de Educación y Desarrollo - QUALIS A4**, [S. l.], v. 17, n. 5, p. e8291, 2025. DOI: 10.55905/cuadv17n5-018. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/8291>. Acesso em: 8 nov. 2025.

MELLO, C.R.; et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>.

NETO, N. M.; EVANGELISTA, H. Human activity behind the unprecedented 2020 wildfire in Brazilian wetlands (Pantanal). **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, art. 888578, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.888578/full>

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PEREIRA, G. **Estimativa e assimilação das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas em modelos de química atmosférica**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013.

PETRUCCI, Eduardo; OLIVEIRA, Luiz Antônio de; SILVA, Rafael César. Secas pluviométricas no

- estado de Minas Gerais, de 1980 a 2017. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], v. 54, p. 129–153, 2022. DOI: 10.5380/raega.v54i0.76135. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/76135>. Acesso em: 6 nov. 2025.
- PIROMAL, R. A. S.; et al. Use of MODIS data for detection of burned areas in Amazonia. **Acta Amazonica**, 38(1): 77-84, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009>.
- Ramos-Neto, M.B. & Pivello, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental management**, 26(6): 675-684, 2000.
- SÁ, M. C. DE et al. Climate change and water resource sustainability index for a water-stressed basin in Brazil: the case study of rio verde grande basin. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 480, 4 set. 2018.
- SANTANA, N. Fire Recurrence and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Dynamics in Brazilian Savanna. **Fire**, v. 2, n. 1, p. 1, 21 dez. 2018.
- SCHOLES, R. J. Greenhouse gas emissions from vegetation fires in southern África. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 38, p.169-179, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00546761>.
- SILVA, J. L. DA et al. As secas no Jequitinhonha: demandas, técnicas e custos do abastecimento no semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, 17 maio 2020.
- SILVA, D.; MORISSON, D. V. AVALIAÇÃO DA DISCRIMINAÇÃO DE QUEIMADAS NATURAIS E ANTRÓPICAS A PARTIR DE DADOS DE MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MINAS GERAIS, BRASIL. **Anais[...]**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2014.
- SINGH, M.; HUANG, Z. Analysis of Forest Fire Dynamics, Distribution and Main Drivers in the Atlantic Forest. **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 992, 17 jan. 2022.
- SOUTO, C. A.; FREITAS, A. C. V.; MARTINS, G. Influence of Current and Future Meteorological Conditions on the Occurrence of Burnings and Forest Fires in the State of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14,n.05,p.2755-2770,2021.DOI:10.26848/rbgf.v14.5.p2755-2770.
- VAN DER WERF, G. R. et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, p. 11707–11735, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>
- Vieira, A.C. et al. 2016. Fogo e seus efeitos na qualidade do solo de pastagem (Fire and its effects on the quality of pasture). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 9, n. 6, 1703–1711, 2016.