v7.n11.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

FOCOS DE CALOR NO CERRADO ENTRE 2020 E SETEMBRO DE 2026: ANÁLISE TEMPORAL E DISCUSSÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DA COMBUSTÃO VEGETAL

HOTSPOTS IN THE BRAZILIAN CERRADO FROM 2020 TO SEPTEMBER 2026: TEMPORAL ANALYSIS AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BIOMASS BURNING

FOCOS DE CALOR EN EL CERRADO BRASILEÑO ENTRE 2020 Y SEPTIEMBRE DE 2026: ANÁLISIS TEMPORAL Y POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES DE LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Cleuzivan Dias Costa[1], Nicole Santos da Silveira[1], Sueli Araújo da Conceição[1], Romario Sousa Conceição[1], Sarah Cardias Porto[2], Ionara Nayana Gomes Passos[3]

e7119434

https://doi.org/10.47820/recima21.v7i11.9434

PUBLICADO: 11/2026

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar a evolução temporal dos focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026, discutindo os potenciais impactos ambientais associados à combustão da biomassa vegetal. A pesquisa apresenta abordagem quali-quantitativa, de caráter descritivo e documental, fundamentada em registros de focos de calor atribuídos ao Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e em revisão bibliográfica. A análise compreendeu a comparação dos registros de janeiro a setembro de 2020 a 2026, a avaliação complementar do último trimestre dos anos de 2020 a 2025 e a investigação da sazonalidade das ocorrências. Os resultados apresentados indicam variações expressivas na quantidade de focos de calor, com destaque para 2024, que registrou 68.631 detecções entre janeiro e setembro, seguido de reduções para 37.315 em 2025 e 27.407 em 2026, considerando períodos equivalentes. Observou-se maior concentração das ocorrências durante a estiagem, especialmente em setembro. Ressalta-se que os dados de 2026 abrangem exclusivamente os nove primeiros meses, não permitindo conclusões sobre o comportamento anual completo. A discussão bibliográfica indica que a combustão vegetal pode liberar gases e material particulado com potenciais efeitos sobre a qualidade do ar, os ecossistemas e a saúde humana. Conclui-se que o monitoramento dos focos de calor contribui para compreender a dinâmica temporal das queimadas no Cerrado, embora esses registros não permitam quantificar diretamente as emissões atmosféricas ou as áreas queimadas.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado. Queimadas. Focos de calor. Poluição atmosférica. Impactos ambientais.

ABSTRACT

This study aims to analyze the temporal evolution of hotspots in the Brazilian Cerrado from January 2020 to September 2026, discussing the potential environmental impacts associated with the combustion of plant biomass.

[1] Graduando em Licenciatura em Ciências Naturais – Química, pela Universidade Federal do Maranhão, Campus Grajaú.
[2] Especialista no ensino de Química e suas tecnologias, pela Universidade Federal do Piauí.
[3] Doutora em Biotecnologia em Recursos Naturais.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

The research adopts a qualitative and quantitative approach, with a descriptive and documentary design, based on hotspot records from the Fire Monitoring Program of the Brazilian National Institute for Space Research (INPE) and a literature review. The analysis involved comparing records from January to September for the years 2020 to 2026, conducting a complementary assessment of the last quarter of the years 2020 to 2025, and investigating the seasonality of occurrences. The results indicate significant variations in the number of hotspots, particularly in 2024, which recorded 68,631 detections between January and September, followed by decreases to 37,315 in 2025 and 27,407 in 2026, considering equivalent periods. A higher concentration of occurrences was observed during the dry season, especially in September. It is noteworthy that the 2026 data cover only the first nine months of the year, preventing conclusions about the full annual pattern. The literature review indicates that biomass combustion can release gases and particulate matter with potential effects on air quality, ecosystems, and human health. It is concluded that hotspot monitoring contributes to understanding the temporal dynamics of fires in the Cerrado, although these records do not allow for the direct quantification of atmospheric emissions or burned areas.

KEYWORDS: *Cerrado. Wildfires. Hotspots. Air pollution. Environmental impacts.*

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar la evolución temporal de los focos de calor en el Cerrado brasileño entre enero de 2020 y septiembre de 2026, discutiendo los posibles impactos ambientales asociados a la combustión de biomasa vegetal. La investigación adopta un enfoque cualitativo y cuantitativo, de carácter descriptivo y documental, basado en registros de focos de calor atribuidos al Programa Queimadas del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) y en una revisión bibliográfica. El análisis comprendió la comparación de los registros de enero a septiembre de 2020 a 2026, la evaluación complementaria del último trimestre de 2020 a 2025 y el estudio de la estacionalidad de los eventos. Los resultados indican variaciones considerables en la cantidad de focos de calor, destacándose 2024, con 68.631 detecciones entre enero y septiembre, seguido de reducciones a 37.315 en 2025 y 27.407 en 2026, considerando períodos equivalentes. Se observó una mayor concentración de eventos durante la estación seca, especialmente en septiembre. Los datos de 2026 abarcan exclusivamente los primeros nueve meses, por lo que no permiten establecer conclusiones sobre el comportamiento anual completo. La revisión bibliográfica indica que la combustión vegetal puede liberar gases y material particulado con posibles efectos sobre la calidad del aire, los ecosistemas y la salud humana. Se concluye que el monitoreo de los focos de calor contribuye a comprender la dinámica temporal de las quemas en el Cerrado, aunque estos registros no permiten cuantificar directamente las emisiones atmosféricas ni las áreas quemadas.

PALABRAS CLAVE: *Cerrado. Incendios. Focos de calor. Contaminación atmosférica. Impactos ambientales.*

INTRODUÇÃO

O Cerrado é reconhecido como uma das savanas de maior biodiversidade do planeta, desempenhando funções essenciais na conservação dos recursos hídricos, na regulação climática e na manutenção dos ciclos biogeoquímicos. Entretanto, esse bioma enfrenta intensas pressões ambientais decorrentes do desmatamento, da expansão agropecuária e das alterações no uso e na cobertura da terra. Entre os principais fatores de degradação, destacam-se as

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

queimadas, cuja ocorrência está relacionada tanto às características ecológicas da vegetação quanto às atividades humanas desenvolvidas em seu território.

O fogo integra historicamente a dinâmica ecológica do Cerrado, influenciando a composição da vegetação e os processos de regeneração natural. Contudo, alterações na frequência, na intensidade e na época de ocorrência dos incêndios podem comprometer o equilíbrio dos ecossistemas, especialmente quando associadas à supressão vegetal e ao uso inadequado do solo. Segundo Coutinho (1990) e Miranda (2010), os efeitos ecológicos do fogo dependem das características do regime de queima, podendo provocar modificações na estrutura e na diversidade das comunidades vegetais.

A ocorrência de queimadas também está relacionada à sazonalidade climática, caracterizada pela alternância entre períodos chuvosos e secos. Durante a estiagem, a redução da umidade e a presença de material vegetal seco podem favorecer a propagação do fogo, principalmente nas formações savânicas e campestres. Conforme Silva Junior *et al.* (2018) e Bezerra *et al.* (2018), essa dinâmica apresenta particular relevância no Maranhão, onde as condições ambientais e as transformações da paisagem contribuem para a ocorrência de focos de calor.

Além dos fatores ambientais, a expansão das atividades agropecuárias representa uma importante pressão sobre o Cerrado brasileiro. Na região do Matopiba, que abrange áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas e pastagens está associada a transformações na paisagem e à fragmentação de habitats. De acordo com Lucena Neto *et al.* (2023), essas alterações representam desafios para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos recursos naturais, especialmente em áreas submetidas a pressões recorrentes decorrentes do uso da terra.

Sob a perspectiva da Química Ambiental, a combustão da biomassa vegetal constitui uma fonte de emissão de substâncias capazes de alterar a composição química da atmosfera. Entre os poluentes associados a esse processo estão o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), os compostos orgânicos voláteis (COVs) e o material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). A combustão também libera dióxido de carbono (CO_2) e partículas de carbono negro, que participam de processos relacionados ao balanço radiativo. Além disso, reações fotoquímicas envolvendo determinados poluentes podem favorecer a formação de ozônio troposférico (O_3), considerado um poluente secundário prejudicial à qualidade do ar.

Segundo Pinto e Bustamante (2010), o fogo interfere nos ciclos biogeoquímicos do Cerrado, modificando os fluxos de gases entre o solo e a atmosfera. Esses processos podem estar associados a alterações na disponibilidade de nutrientes e nas condições ambientais

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

necessárias à recuperação da vegetação. Paralelamente, a dispersão da fumaça pode ampliar os efeitos das queimadas para além das áreas diretamente atingidas, alcançando outros ecossistemas e populações.

As consequências da poluição atmosférica associada às queimadas também representam uma preocupação para a saúde pública. A exposição ao material particulado e a determinados gases provenientes da combustão vegetal pode contribuir para o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, especialmente entre crianças, idosos e pessoas com condições de saúde preexistentes. Conforme discutido por Furtado *et al.* (2019) e Santos (2021), as relações entre degradação ambiental e saúde humana evidenciam a importância de compreender os riscos associados à deterioração da qualidade do ar.

Nesse contexto, o monitoramento dos focos de calor constitui um instrumento importante para investigar a dinâmica temporal da atividade de fogo. Os registros disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Programa Queimadas, permitem acompanhar as detecções realizadas por satélites e identificar variações entre diferentes períodos. Entretanto, é necessário distinguir a quantidade de focos registrados do número individual de incêndios, da extensão das áreas queimadas e das emissões atmosféricas, pois esses indicadores representam aspectos distintos da ocorrência do fogo.

A análise do período de janeiro de 2020 a setembro de 2026 possibilita examinar as variações temporais recentes dos focos de calor no Cerrado brasileiro, considerando as diferenças entre os anos e a distribuição mensal das detecções. Como os dados de 2026 abrangem somente os nove primeiros meses, as comparações anuais devem utilizar intervalos equivalentes, evitando interpretações inadequadas decorrentes da comparação entre anos completos e incompletos.

Diante desse cenário, estabelece-se a seguinte questão de pesquisa: como evoluíram os registros de focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026, quais padrões de sazonalidade podem ser identificados e quais potenciais impactos ambientais da combustão vegetal são descritos pela literatura científica?

A problemática das queimadas no Cerrado brasileiro também se relaciona aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas na Agenda 2030. Nesse contexto, destacam-se o ODS 3, voltado à saúde e ao bem-estar; o ODS 13, relacionado ao enfrentamento das mudanças climáticas; e o ODS 15, direcionado à proteção dos ecossistemas terrestres e da biodiversidade. A articulação entre esses objetivos e a investigação das queimadas evidencia a importância de compreender seus potenciais impactos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ambientais e atmosféricos, contribuindo para o debate sobre estratégias de prevenção, conservação e desenvolvimento sustentável (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015).

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de compreender as variações temporais dos focos de calor no Cerrado e discutir, com base na literatura científica, as possíveis consequências da combustão vegetal para a atmosfera, os ecossistemas e a saúde humana. A pesquisa apresenta relevância científica e social ao reunir registros de monitoramento por satélite e conhecimentos sobre os processos químicos associados às queimadas, contribuindo para a compreensão dos riscos ambientais e para a discussão de estratégias de prevenção e conservação do bioma.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa é analisar comparativamente a evolução temporal e a sazonalidade dos focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026, discutindo os potenciais impactos ambientais associados à combustão da biomassa vegetal. Especificamente, busca-se identificar as variações anuais dos registros em períodos equivalentes; examinar a contribuição dos meses de outubro a dezembro para os totais dos anos completos de 2020 a 2025; investigar a distribuição mensal e sazonal das detecções; identificar os principais poluentes associados à combustão vegetal; e discutir, com base na literatura científica, seus potenciais efeitos sobre a qualidade do ar, os ecossistemas e a saúde humana.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Características ecológicas do Cerrado e sua relação com o fogo

O Cerrado constitui um dos principais biomas brasileiros, caracterizado por elevada biodiversidade e pela presença de diferentes formações vegetacionais, que incluem ambientes campestres, savânicos e florestais. Sua diversidade ecológica está relacionada à interação entre fatores climáticos, características do solo, disponibilidade hídrica e processos naturais de perturbação. Entre esses processos, o fogo desempenha um papel importante na dinâmica da vegetação, influenciando a composição das comunidades, a regeneração das espécies e a manutenção de determinadas características dos ecossistemas.

De acordo com Coutinho (1990), a ocorrência histórica do fogo contribuiu para o desenvolvimento de adaptações em diversas espécies vegetais do Cerrado, como cascas espessas, estruturas subterrâneas resistentes e capacidade de rebrota após a passagem das chamas. Entretanto, essas características não significam que todas as espécies e formações vegetais apresentem a mesma resistência ao fogo. Seus efeitos dependem da intensidade, da frequência, da época de ocorrência e das condições ambientais em que acontece a queima.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Walter *et al.* (2008) destacam que o Cerrado apresenta diferentes fitofisionomias, cujas características influenciam as respostas da vegetação aos distúrbios ambientais. Nas formações campestres e savânicas, a presença de gramíneas e o acúmulo de material vegetal seco podem favorecer a propagação do fogo, especialmente durante a estiagem. Por outro lado, formações florestais, como as matas de galeria, apresentam condições ambientais distintas e podem sofrer danos expressivos quando submetidas a incêndios recorrentes.

É importante diferenciar os eventos naturais de fogo, as queimadas prescritas e os incêndios não controlados. Os eventos naturais podem ocorrer, por exemplo, em decorrência de descargas elétricas atmosféricas. As queimadas prescritas, por sua vez, correspondem ao uso planejado do fogo, realizado sob condições previamente estabelecidas e com objetivos específicos de manejo. Já os incêndios não controlados caracterizam-se pela propagação do fogo fora dos limites previstos, podendo atingir áreas extensas e comprometer diferentes componentes dos ecossistemas. Embora apresentem origens e condições de ocorrência distintas, seus efeitos ambientais dependem das características de cada evento, não sendo possível classificá-los como benéficos ou prejudiciais apenas pela sua origem.

Segundo Miranda e Sato (2005), os efeitos do fogo sobre a vegetação lenhosa do Cerrado estão relacionados às características das plantas e às condições de ocorrência das queimadas. Incêndios frequentes podem provocar danos à parte aérea, aumentar a mortalidade de indivíduos jovens e dificultar o estabelecimento de determinadas espécies. Quando os intervalos entre as queimadas são insuficientes para a recuperação da vegetação, podem ocorrer alterações na estrutura e na composição das comunidades vegetais.

Dessa forma, a presença do fogo no Cerrado não constitui, isoladamente, um indicador de degradação ambiental. Seus efeitos devem ser compreendidos a partir do regime de queima, considerando a frequência, a intensidade, a sazonalidade e as características dos ecossistemas atingidos. Essa distinção é fundamental para compreender a dinâmica ecológica do bioma e os riscos associados às alterações nos padrões de ocorrência do fogo.

1.2. Uso e cobertura da terra, expansão agropecuária e alterações no regime de queima

As mudanças no uso e na cobertura da terra constituem fatores importantes para compreender a dinâmica contemporânea do fogo no Cerrado brasileiro. A expansão das atividades agropecuárias, a abertura de áreas produtivas e a fragmentação da vegetação nativa podem modificar a estrutura da paisagem, a distribuição do material vegetal combustível e as condições de propagação do fogo. Entretanto, essas relações variam conforme as características ambientais, as práticas de manejo e as formas de ocupação do território.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Na região do Matopiba, que compreende áreas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a expansão da fronteira agrícola está associada a transformações no uso da terra, especialmente em decorrência do cultivo de grãos e da atividade pecuária. Conforme discutem Lucena Neto *et al.* (2023), as mudanças na ocupação do Cerrado maranhense representam pressões sobre os recursos naturais e a conservação da biodiversidade. Nesse contexto, a substituição da vegetação nativa e a fragmentação dos habitats podem modificar as condições ambientais e influenciar a dinâmica de ocorrência do fogo.

O emprego do fogo em atividades humanas apresenta diferentes finalidades e condições de realização. As queimadas prescritas correspondem ao uso planejado do fogo, mediante objetivos definidos e condições de manejo previamente estabelecidas. Já as queimadas utilizadas em práticas agropecuárias, como a limpeza de áreas e o manejo de pastagens, não são necessariamente equivalentes às queimadas prescritas, pois podem ocorrer sob diferentes níveis de planejamento e controle. Por sua vez, os incêndios não controlados caracterizam-se pela propagação do fogo além dos limites previstos, enquanto os eventos naturais podem ter origem em fenômenos como descargas elétricas atmosféricas.

Essa diferenciação é importante porque os efeitos ecológicos desses eventos não são necessariamente iguais. Durante períodos de estiagem, condições como baixa umidade, presença de vegetação seca e ventos podem favorecer a propagação das chamas. Nessas circunstâncias, uma queima inicialmente destinada ao manejo de determinada área pode escapar ao controle, especialmente quando não são adotadas medidas adequadas de prevenção. Contudo, a ocorrência de incêndios não controlados não deve ser atribuída automaticamente a todas as práticas de uso do fogo, pois depende de fatores ambientais e operacionais específicos.

A frequência das queimadas também pode interferir nos processos de regeneração natural da vegetação. Andrade e Miranda (2010), ao discutirem a influência do fogo sobre o banco de sementes, contribuem para a compreensão de como diferentes regimes de queima podem afetar a disponibilidade de sementes e a recuperação das comunidades vegetais. A repetição de queimadas em intervalos reduzidos pode comprometer o estabelecimento de determinadas espécies, especialmente quando não há tempo suficiente para a recomposição da vegetação.

As alterações na estrutura das comunidades vegetais também podem ser compreendidas a partir do modelo de estados e transições apresentado por Meirelles *et al.* (1997), que considera a possibilidade de mudanças entre diferentes condições da vegetação em resposta a fatores ambientais e perturbações. Nessa perspectiva, a recorrência do fogo,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

associada a outras pressões sobre o ecossistema, pode favorecer transformações na composição e na estrutura das comunidades vegetais. Entretanto, a intensidade dessas alterações depende das características da vegetação, do histórico de uso da terra e do regime de queima.

Portanto, a relação entre expansão agropecuária, alterações da paisagem e ocorrência do fogo no Cerrado deve ser analisada considerando a diversidade de práticas de manejo e as condições ambientais de cada região. A distinção entre queimadas prescritas, usos agropecuários do fogo, incêndios não controlados e eventos naturais contribui para evitar generalizações e compreender os diferentes impactos ecológicos associados a esses processos.

1.3. Processos químicos da combustão de biomassa e formação de poluentes atmosféricos

A combustão da biomassa vegetal envolve transformações físicas e químicas que ocorrem quando materiais orgânicos são submetidos a temperaturas elevadas, geralmente na presença de oxigênio atmosférico. A composição e a quantidade das substâncias liberadas dependem de fatores como o tipo de vegetação, a umidade do material combustível, a temperatura, a disponibilidade de oxigênio e as condições de desenvolvimento da queima.

A biomassa vegetal é constituída principalmente por compostos orgânicos, entre os quais se destacam a celulose, a hemicelulose e a lignina. Durante o aquecimento, esses componentes passam por processos de decomposição térmica, incluindo a pirólise, que promove a formação de substâncias voláteis e resíduos carbonáceos. Quando ocorre combustão suficientemente completa dos compostos orgânicos, os principais produtos formados são o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O). Entretanto, nas queimadas em ambientes naturais, as condições de temperatura e disponibilidade de oxigênio são variáveis, favorecendo também a combustão incompleta.

A combustão incompleta da biomassa pode liberar monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COVs), material particulado e diferentes substâncias carbonáceas. Além disso, podem ocorrer emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), cuja formação está relacionada à presença de compostos nitrogenados no combustível e às condições térmicas da combustão. Essas substâncias apresentam diferentes propriedades químicas e podem participar de processos que modificam a composição da atmosfera.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em primários e secundários, conforme sua origem. Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente por determinada fonte, como ocorre com o monóxido de carbono, parte dos compostos orgânicos voláteis, os

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

óxidos de nitrogênio e as partículas produzidas durante a combustão vegetal. Os poluentes secundários, por sua vez, são formados na atmosfera por transformações químicas envolvendo substâncias previamente emitidas. Essa diferenciação é importante porque a emissão direta de um poluente não corresponde necessariamente à concentração posteriormente observada no ambiente.

Entre os poluentes secundários, destaca-se o ozônio troposférico (O_3), cuja formação envolve reações fotoquímicas entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, sob influência da radiação solar. Diferentemente do ozônio presente na estratosfera, que desempenha papel importante na absorção de parte da radiação ultravioleta, o ozônio próximo à superfície terrestre pode prejudicar a qualidade do ar, a saúde humana e a vegetação. Outros compostos secundários, incluindo determinadas partículas atmosféricas, também podem resultar de transformações químicas dos gases emitidos durante a queima.

O material particulado corresponde a uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas na atmosfera. Sua classificação considera o diâmetro aerodinâmico, destacando-se o MP_{10}, que compreende partículas com diâmetro de até 10 micrômetros, e o $MP_{2,5}$, constituído por partículas finas com diâmetro de até 2,5 micrômetros. Essas partículas podem conter compostos orgânicos, substâncias inorgânicas e materiais carbonáceos. Parte delas é emitida diretamente durante a combustão, enquanto outra parte pode se formar posteriormente por processos físico-químicos na atmosfera.

Entre os componentes carbonáceos da fumaça, destaca-se o carbono negro, produzido principalmente em condições de combustão incompleta. Esse material apresenta elevada capacidade de absorção da radiação solar, podendo influenciar o balanço radiativo atmosférico. Além disso, por integrar a fração particulada da fumaça, sua presença pode estar associada à exposição humana a partículas inaláveis. O dióxido de carbono, por sua vez, deve ser considerado principalmente por sua participação no ciclo do carbono e no efeito estufa, não sendo adequado equiparar seus efeitos climáticos aos efeitos tóxicos diretos de poluentes como o monóxido de carbono.

Os processos de combustão também estão relacionados às alterações nos fluxos de gases entre o solo, a vegetação e a atmosfera. Pinto e Bustamante (2010), ao abordarem as emissões de gases-traço em fitofisionomias do Cerrado submetidas a diferentes regimes de queima, contribuem para a compreensão das relações entre o fogo e os ciclos biogeoquímicos. Entretanto, a intensidade dessas alterações depende das características do ecossistema e das condições específicas de ocorrência do fogo.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

É necessário distinguir, ainda, a emissão de substâncias durante a combustão das concentrações efetivamente presentes no ar. Enquanto as emissões correspondem à quantidade de material liberado por determinada fonte, as concentrações atmosféricas representam a quantidade dessas substâncias em determinado volume de ar. Essas concentrações são influenciadas pelas condições meteorológicas, pela dispersão, pelo transporte atmosférico, pelas reações químicas e pelos processos de remoção dos poluentes.

Nesse sentido, os registros de focos de calor obtidos por satélites permitem identificar detecções de atividade térmica, mas não fornecem, isoladamente, medidas diretas da massa de poluentes emitidos ou de suas concentrações atmosféricas. A estimativa das emissões exige informações complementares, como área efetivamente queimada, quantidade e características da biomassa consumida e fatores de emissão. Já a avaliação das concentrações depende de medições atmosféricas ou de métodos específicos de modelagem. Portanto, a discussão dos poluentes associados às queimadas deve ser compreendida como uma fundamentação científica sobre os processos químicos e seus potenciais efeitos ambientais, sem atribuir aos registros de focos de calor resultados que não foram diretamente mensurados neste estudo.

1.4. Alterações ambientais e efeitos sobre os ciclos biogeoquímicos

As queimadas podem provocar alterações nos processos ecológicos e biogeoquímicos do Cerrado, afetando a vegetação, as propriedades do solo e as trocas de matéria e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera. A intensidade dessas alterações depende de fatores como a frequência e a severidade do fogo, as características da vegetação e as condições ambientais das áreas atingidas. Dessa forma, seus efeitos não são uniformes e devem ser analisados considerando as particularidades de cada ecossistema.

A remoção da cobertura vegetal durante os incêndios pode aumentar a exposição do solo à radiação solar e ao impacto direto das chuvas, favorecendo alterações na temperatura superficial e na dinâmica da água. Santos *et al.* (2003), ao investigarem os efeitos do fogo sobre os fluxos de carbono, energia e vapor de água em uma formação savânica do Brasil Central, evidenciam a importância das interações entre vegetação e atmosfera. Nesse contexto, as modificações na cobertura vegetal podem influenciar a evapotranspiração, as trocas gasosas e o balanço energético, com efeitos que variam conforme as condições ambientais e o processo de recuperação da vegetação.

No solo, a exposição a temperaturas elevadas pode modificar a quantidade e a composição da matéria orgânica, além de afetar a atividade de microrganismos e determinadas propriedades físicas e químicas. A combustão da biomassa também pode provocar perdas de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

nutrientes por volatilização e transporte de partículas. Entretanto, parte dos elementos minerais permanece nas cinzas, podendo ocasionar alterações temporárias na disponibilidade de nutrientes. A duração e a intensidade dessas mudanças dependem das condições da queima e dos processos posteriores de erosão, lixiviação e regeneração vegetal.

As alterações na cobertura vegetal também podem interferir no ciclo hidrológico. Em determinadas condições, a redução da proteção superficial do solo pode favorecer o escoamento da água e aumentar a suscetibilidade à erosão, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Contudo, esses efeitos dependem das características do solo, da declividade do terreno, da severidade do fogo e da capacidade de recuperação da vegetação, não ocorrendo necessariamente com a mesma intensidade em todas as áreas queimadas.

Em relação ao ciclo do carbono, a combustão da biomassa promove a liberação de dióxido de carbono (CO_2) e de outros compostos carbonados para a atmosfera. Entretanto, a avaliação do balanço de carbono de um ecossistema exige considerar não apenas as emissões decorrentes do fogo, mas também a quantidade de biomassa consumida, os estoques de carbono e a capacidade de recuperação da vegetação por meio da fotossíntese. Assim, a ocorrência de queimadas pode modificar temporariamente os fluxos de carbono, mas seus efeitos de longo prazo dependem da frequência dos eventos e da dinâmica de regeneração dos ecossistemas.

É importante destacar que os registros de focos de calor obtidos por satélites não permitem determinar diretamente a extensão das áreas queimadas, a quantidade de carbono liberada ou a intensidade das alterações no solo. A avaliação desses impactos exige informações complementares, incluindo dados sobre a vegetação atingida, a severidade dos incêndios e as condições ambientais das áreas afetadas. Portanto, neste estudo, os possíveis efeitos das queimadas sobre os ciclos biogeoquímicos são discutidos com base na literatura científica, sem estabelecer relações causais diretas a partir da quantidade de focos de calor registrada.

Dessa maneira, compreender as alterações ambientais associadas ao fogo no Cerrado requer considerar as interações entre vegetação, solo, atmosfera e recursos hídricos. Essa abordagem contribui para uma interpretação mais cuidadosa dos impactos ecológicos, reconhecendo que a presença do fogo não representa, isoladamente, uma medida de degradação ambiental, pois suas consequências dependem das características do regime de queima e da capacidade de recuperação dos ecossistemas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1.5. Poluição atmosférica e implicações para a saúde pública

A poluição atmosférica associada às queimadas constitui uma preocupação ambiental e sanitária, uma vez que a combustão da biomassa vegetal libera gases e partículas capazes de alterar a qualidade do ar. A fumaça produzida durante esses eventos apresenta composição química variável, dependendo das características do material combustível, das condições de combustão e dos processos de transformação das substâncias na atmosfera. Além disso, sua dispersão é influenciada por fatores meteorológicos, como a direção e a velocidade dos ventos, a estabilidade atmosférica e a ocorrência de precipitações.

Entre os componentes da fumaça, destaca-se o material particulado fino ($MP_{2,5}$), formado por partículas com diâmetro aerodinâmico de até 2,5 micrômetros. Devido ao seu tamanho reduzido, essas partículas podem alcançar regiões profundas do sistema respiratório, contribuindo para processos inflamatórios e para o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. A intensidade dos efeitos depende de fatores como a concentração dos poluentes, o tempo de exposição e as condições de saúde dos indivíduos.

Furtado *et al.* (2019) discutem os efeitos da intensificação da poluição atmosférica causada pelas queimadas sobre a saúde humana, destacando a importância dessa problemática para a saúde pública. A exposição aos contaminantes presentes na fumaça pode representar riscos especialmente para crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias ou cardiovasculares preexistentes. Entretanto, a ocorrência e a gravidade dos efeitos variam conforme as condições de exposição e a vulnerabilidade dos grupos populacionais.

Os impactos potenciais da fumaça não se restringem às áreas diretamente atingidas pelo fogo. O transporte atmosférico pode deslocar partículas e gases para regiões distantes, dependendo das condições meteorológicas. Dessa maneira, a exposição humana aos contaminantes pode ocorrer mesmo em localidades onde não foram registrados incêndios próximos, evidenciando a importância de considerar a circulação atmosférica na avaliação da qualidade do ar.

Santos (2021), ao discutir as relações entre a degradação da biodiversidade e a saúde global, contribui para uma compreensão ampliada das consequências das alterações ambientais sobre o bem-estar humano. Essa perspectiva permite reconhecer que a conservação dos ecossistemas e a proteção da saúde pública constituem dimensões relacionadas, especialmente diante de processos de degradação ambiental que podem comprometer a qualidade do ar e outros serviços ecossistêmicos.

Entretanto, é necessário diferenciar os riscos sanitários descritos na literatura científica dos impactos efetivamente observados em determinada população. A identificação de focos de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

calor por satélites não permite determinar diretamente as concentrações de poluentes atmosféricos nem estabelecer relações causais entre a ocorrência de queimadas e o aumento de internações hospitalares, doenças ou óbitos. Para investigar essas associações, seriam necessários dados complementares sobre a exposição aos contaminantes, as condições meteorológicas, as características das populações e os indicadores epidemiológicos.

Nesse sentido, a presente pesquisa utiliza os registros de focos de calor para examinar a evolução temporal da atividade de fogo no Cerrado brasileiro, enquanto as implicações para a saúde pública são discutidas com base nas evidências disponíveis na literatura científica. Essa distinção metodológica é fundamental para evitar interpretações que atribuam diretamente aos dados de monitoramento por satélite efeitos sanitários que não foram mensurados neste estudo.

Portanto, compreender a relação entre queimadas, poluição atmosférica e saúde pública exige considerar tanto os processos químicos responsáveis pela formação e dispersão dos contaminantes quanto as condições de exposição das populações. Essa abordagem contribui para uma interpretação cientificamente fundamentada dos potenciais riscos associados à combustão vegetal e reforça a importância do monitoramento ambiental e das medidas de prevenção.

1.6. Monitoramento por satélites e análise espaço-temporal dos focos de calor

O monitoramento por satélites constitui uma ferramenta importante para acompanhar a atividade de fogo em grandes extensões territoriais, especialmente em biomas como o Cerrado brasileiro. Por meio de sensores orbitais, é possível identificar anomalias térmicas associadas à presença de fogo ativo, produzindo registros que contribuem para a compreensão das variações temporais e sazonais das queimadas.

No Brasil, o Programa Queimadas, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponibiliza informações sobre focos de calor detectados por diferentes sensores instalados em satélites. Esses registros permitem acompanhar a frequência das detecções ao longo do tempo e identificar períodos de maior ou menor atividade de fogo. Dessa forma, o monitoramento remoto representa uma importante fonte de informações para pesquisas ambientais e para o acompanhamento da dinâmica das queimadas (INPE, 2026).

Entretanto, os focos de calor correspondem às detecções realizadas pelos sensores e não representam necessariamente o número individual de incêndios ou a extensão das áreas queimadas. Um mesmo evento pode produzir múltiplos registros, enquanto determinadas ocorrências podem não ser identificadas devido às limitações dos sensores, à presença de nuvens, ao horário de passagem dos satélites e às características da atividade térmica

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

observada. Portanto, a interpretação desses dados exige atenção às condições e aos limites do monitoramento.

A utilização de séries temporais também requer cuidados metodológicos para garantir a comparabilidade das informações. O emprego de uma série de referência baseada em critérios consistentes de detecção contribui para reduzir diferenças decorrentes da utilização de sensores com características distintas. Além disso, é necessário manter a mesma delimitação territorial e considerar períodos equivalentes de observação, especialmente quando a pesquisa inclui anos com dados incompletos.

No presente estudo, a análise concentra-se na evolução temporal dos registros de focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026. Para permitir comparações adequadas, são considerados os meses de janeiro a setembro de cada ano, enquanto os registros de outubro a dezembro são examinados separadamente para o período de 2020 a 2025. Essa organização permite identificar variações interanuais e padrões de sazonalidade sem comparar diretamente períodos de durações diferentes.

É importante destacar que os dados de focos de calor não permitem, isoladamente, determinar a quantidade de biomassa consumida, as emissões de poluentes atmosféricos ou as concentrações dessas substâncias no ambiente. A estimativa das emissões exige informações complementares, como a área efetivamente queimada, as características da vegetação e os fatores de emissão. Da mesma forma, a avaliação da qualidade do ar depende de medições atmosféricas ou de métodos específicos de modelagem.

Assim, o monitoramento por satélites fornece informações relevantes sobre a evolução temporal da atividade de fogo, mas seus resultados devem ser interpretados de acordo com as características dos indicadores utilizados. Nesta pesquisa, os registros disponibilizados pelo INPE fundamentam a análise quantitativa dos focos de calor, enquanto os potenciais impactos ambientais e sanitários associados à combustão da biomassa são discutidos com base na literatura científica, respeitando os limites metodológicos do estudo.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de abordagem quali-quantitativa, de natureza descritiva e documental, fundamentado em revisão bibliográfica. A abordagem quantitativa foi utilizada para analisar a evolução temporal e a sazonalidade dos registros de focos de calor no Cerrado brasileiro, enquanto a abordagem qualitativa permitiu discutir, com base na literatura científica, os processos químicos da combustão vegetal e seus potenciais

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

impactos ambientais e sanitários. O período investigado compreendeu janeiro de 2020 a setembro de 2026.

Os dados quantitativos foram obtidos no portal oficial do Programa Queimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na seção *Estatísticas dos Focos Ativos por Bioma*, mediante seleção do bioma Cerrado. A extração foi realizada em 11 de outubro de 2026, por meio do download da série histórica mensal em formato CSV, disponível em: https://data.inpe.br/queimadas/estatisticas/?tipo=biomas&item=cerrado. O arquivo apresenta os registros de focos de calor organizados por ano e mês, permitindo selecionar os intervalos correspondentes ao recorte temporal da pesquisa (INPE, 2026).

A série histórica consultada corresponde aos registros do satélite de referência do Programa Queimadas. Conforme a documentação institucional do INPE, o satélite utilizado como referência desde julho de 2002 é o AQUA_M-T, equipado com o sensor MODIS, cuja resolução espacial nominal é de aproximadamente 1 km. Dessa forma, o intervalo de 2020 a setembro de 2026 está compreendido no período de utilização dessa referência de monitoramento. A adoção de uma série de referência contribui para a comparabilidade temporal, embora não elimine possíveis limitações decorrentes das condições de observação e detecção dos sensores orbitais.

A delimitação geográfica correspondeu ao bioma Cerrado, conforme o filtro territorial disponibilizado na plataforma do INPE. Foram utilizados os totais mensais agregados para o conjunto do bioma, sem subdivisão por estados, municípios ou unidades de conservação. Assim, a pesquisa concentrou-se na análise temporal dos registros, não sendo realizada uma análise da distribuição espacial dos focos de calor.

Para a organização dos dados, foram consideradas as colunas referentes ao ano e aos meses de janeiro a dezembro presentes no arquivo CSV. Inicialmente, selecionaram-se os registros de 2020 a 2026. Em seguida, foram calculados os acumulados de janeiro a setembro de cada ano, mediante a soma dos nove valores mensais correspondentes. Esse procedimento permitiu comparar períodos de igual duração, uma vez que o ano de 2026 ainda não estava concluído no momento da coleta dos dados.

Complementarmente, os registros de outubro a dezembro foram agrupados para os anos de 2020 a 2025, mediante a soma dos valores mensais desse intervalo. Os dados de outubro de 2026 não foram incorporados à análise, pois o mês ainda estava em andamento na data de extração. Para investigar a sazonalidade, também foram examinados os valores mensais, permitindo identificar os períodos de maior e menor concentração de detecções ao longo dos anos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O tratamento quantitativo foi realizado por meio de procedimentos de estatística descritiva, incluindo a organização dos valores absolutos, o cálculo das diferenças entre períodos e a determinação das variações percentuais. A diferença absoluta foi obtida pela subtração do valor do período anterior do valor do período posterior. A variação percentual foi calculada pela razão entre essa diferença e o valor do período anterior, multiplicada por 100. Adicionalmente, a participação relativa de cada mês foi calculada pela divisão do número de focos registrados no mês pelo total do intervalo correspondente, multiplicada por 100.

A conferência dos resultados consistiu na comparação dos acumulados calculados a partir das colunas mensais do arquivo CSV com os valores apresentados nas tabelas e nos gráficos da pesquisa. Os dados foram organizados em representações de elaboração própria, com identificação do Programa Queimadas do INPE como fonte primária. Não foram aplicados testes estatísticos inferenciais, modelos de regressão ou procedimentos de estimação de incerteza. Portanto, as diferenças identificadas foram interpretadas exclusivamente em termos descritivos, sem atribuição de significância estatística.

A revisão bibliográfica foi utilizada para fundamentar a discussão sobre a ecologia do fogo no Cerrado, os processos de combustão da biomassa, a formação de poluentes atmosféricos e seus potenciais efeitos sobre os ecossistemas e a saúde humana. Foram consideradas publicações científicas e documentos institucionais pertinentes ao tema, incluindo Coutinho (1990), Miranda e Sato (2005), Pinto e Bustamante (2010), Silva Junior *et al.* (2018) e Furtado *et al.* (2019). As informações provenientes dessas fontes foram empregadas na interpretação ambiental dos resultados, sem serem tratadas como medições produzidas pelo conjunto de dados analisado.

A análise também considerou as limitações do monitoramento orbital. Os focos de calor representam detecções de atividade térmica e não correspondem necessariamente ao número individual de incêndios ou à extensão das áreas queimadas. Um mesmo evento pode produzir diferentes registros, enquanto determinadas ocorrências podem não ser identificadas em razão das características dos sensores e das condições de observação. Além disso, a quantidade de focos não permite determinar diretamente a massa de biomassa consumida, as emissões de poluentes ou suas concentrações atmosféricas.

Consequentemente, o estudo não realizou estimativas quantitativas de emissões atmosféricas, medições da qualidade do ar ou análises epidemiológicas. As possíveis relações entre queimadas, alterações ambientais e efeitos sobre a saúde pública foram discutidas com base em evidências da literatura científica. Da mesma forma, as condições climáticas e as

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

atividades humanas foram consideradas elementos de contextualização, não sendo submetidas a testes de associação ou causalidade com os registros observados.

Dessa maneira, os procedimentos metodológicos adotados permitiram examinar a evolução temporal e a sazonalidade dos focos de calor no Cerrado brasileiro, com base em dados mensais disponibilizados pelo INPE. A interpretação dos resultados foi conduzida de forma descritiva, distinguindo as variações efetivamente observadas das explicações propostas pela literatura e respeitando os limites das informações utilizadas.

Quadro 1. Síntese dos procedimentos metodológicos

Elemento	Descrição
Natureza da pesquisa	Descritiva e documental.
Abordagem	Quali-quantitativa.
Fundamentação	Revisão bibliográfica.
Área de estudo	Bioma Cerrado brasileiro.
Fonte primária	Programa Queimadas do INPE.
Produto	Estatísticas mensais dos focos ativos por bioma.
Satélite de referência	AQUA_M-T.
Sensor	MODIS.
Data de extração	11 de outubro de 2026.
Período principal	Janeiro a setembro de 2020 a 2026.
Período complementar	Outubro a dezembro de 2020 a 2025.
Procedimentos quantitativos	Somas mensais, diferenças absolutas, variações percentuais e participação relativa mensal.
Tipo de análise	Estatística descritiva e discussão bibliográfica.
Limitações	Ausência de estimativas diretas de área queimada, emissões, concentrações atmosféricas e desfechos sanitários.

Fonte: elaboração própria com base nos dados do Programa Queimadas/INPE, satélite AQUA_M-T, extraídos em 11 de outubro de 2026.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Evolução temporal dos focos de calor no Cerrado brasileiro entre 2020 e setembro de 2026

A análise dos registros de focos de calor no Cerrado brasileiro, considerando o intervalo de janeiro a setembro de cada ano entre 2020 e 2026, revelou oscilações na atividade térmica

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

detectada por satélite. A utilização de períodos equivalentes possibilitou comparar os resultados sem confundir as diferenças entre os registros com a duração dos intervalos analisados.

Em 2020, foram contabilizados 46.007 focos de calor, enquanto em 2021 esse número alcançou 51.505 registros, representando um aumento de 5.498 detecções, equivalente a aproximadamente 12,0%. Nos anos seguintes, observou-se uma redução, com 41.800 focos em 2022 e 36.861 em 2023. Em relação ao ano imediatamente anterior, as diminuições foram de aproximadamente 18,8% em 2022 e 11,8% em 2023.

O ano de 2024 apresentou o maior acumulado da série investigada, com 68.631 focos de calor entre janeiro e setembro. Esse resultado correspondeu a um aumento absoluto de 31.770 registros e a uma elevação de aproximadamente 86,2% em comparação com o mesmo intervalo de 2023. A diferença observada demonstra uma ampliação expressiva da quantidade de detecções de atividade térmica no bioma durante o período, constituindo o principal destaque quantitativo da análise.

Em 2025, foram registrados 37.315 focos de calor, o que representa uma redução de 31.316 detecções, aproximadamente 45,6%, em relação a 2024. Em 2026, considerando exclusivamente os meses de janeiro a setembro, o acumulado foi de 27.407 registros, correspondendo a uma diminuição de 9.908 focos, equivalente a aproximadamente 26,6%, em comparação com o mesmo intervalo de 2025.

As diferenças observadas demonstram que a frequência de focos de calor não apresentou comportamento linear entre 2020 e 2026. Embora 2024 tenha registrado o maior acumulado, os anos seguintes apresentaram valores inferiores. Essa variabilidade interanual evidencia a importância de examinar cada período individualmente, evitando generalizações sobre uma tendência contínua de crescimento ou redução das queimadas no Cerrado.

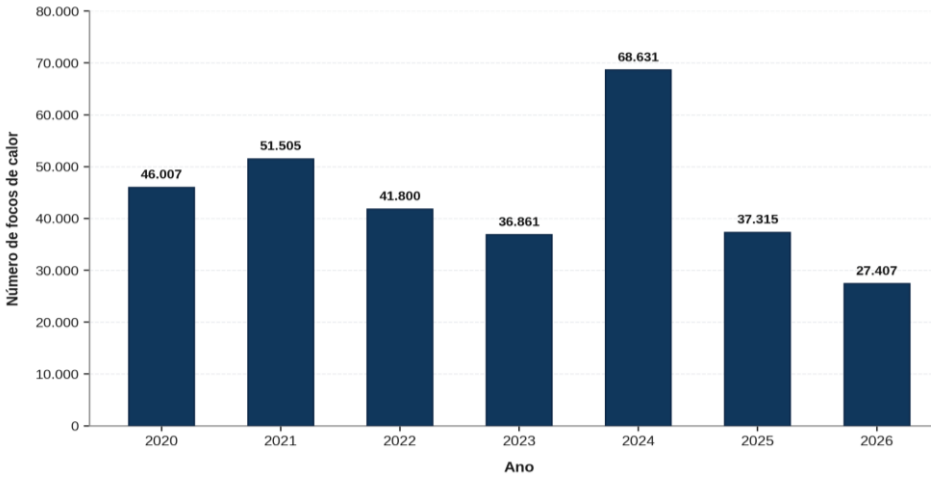
A elevação registrada em 2024 pode ser discutida à luz de estudos que apontam a influência potencial de condições meteorológicas, da disponibilidade de material vegetal combustível e das atividades humanas sobre a ocorrência e a propagação do fogo. Entretanto, essas possibilidades constituem hipóteses interpretativas fundamentadas na literatura, e não relações causais demonstradas nesta pesquisa, uma vez que não foram analisados dados meteorológicos, indicadores de umidade da vegetação ou informações quantitativas sobre mudanças no uso da terra.

Dessa forma, os resultados apresentados permitem identificar a magnitude das variações temporais dos focos de calor no Cerrado brasileiro, mas não autorizam concluir que as alterações no número de detecções tenham produzido aumentos ou reduções proporcionais das emissões atmosféricas ou dos impactos ambientais. A discussão dessas consequências

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

depende de informações complementares, consideradas nas seções seguintes a partir da literatura científica.

Figura 1. Evolução dos focos de calor no Cerrado brasileiro de janeiro a setembro (2020-2026)



Fonte: elaboração própria com base nos dados do Programa Queimadas/INPE, satélite AQUA_M-T, extraídos em 11 de outubro de 2026.

3.2. Análise comparativa dos focos de calor no Cerrado brasileiro entre outubro e dezembro (2020–2025)

A análise dos focos de calor registrados no Cerrado brasileiro entre outubro e dezembro de 2020 a 2025 complementa os resultados apresentados na seção anterior, permitindo examinar as variações observadas no último trimestre dos anos completos. A separação desse intervalo é necessária para preservar a comparabilidade temporal, uma vez que a pesquisa considera os registros de 2026 somente até setembro.

Em 2020, foram contabilizados 17.812 focos de calor no período de outubro a dezembro. Em 2021, o acumulado diminuiu para 11.223 registros, correspondendo a uma redução absoluta de 6.589 detecções, equivalente a aproximadamente 37,0%. No ano seguinte, observou-se um aumento para 15.085 focos, representando um acréscimo de 3.862 registros, ou 34,4%, em comparação com 2021.

Em 2023, o último trimestre apresentou 13.852 focos de calor, uma diminuição de 1.233 registros, aproximadamente 8,2%, em relação ao mesmo período de 2022. Em 2024, foram identificados 12.837 focos, correspondendo a uma redução de 1.015 detecções, equivalente a 7,3%, na comparação com 2023.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

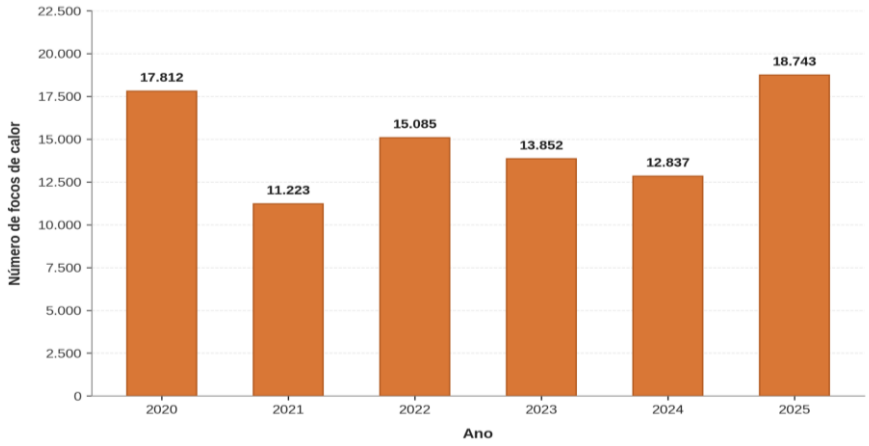
O maior acumulado do último trimestre ocorreu em 2025, com 18.743 focos de calor. Esse resultado representou um aumento absoluto de 5.906 registros, aproximadamente 46,0%, em relação ao mesmo intervalo de 2024. Assim, diferentemente do comportamento observado entre janeiro e setembro, quando 2024 apresentou o maior acumulado, o último trimestre de 2025 concentrou o maior número de detecções entre os anos analisados.

A comparação demonstra que a distribuição temporal dos focos de calor não foi uniforme ao longo da série histórica. Em determinados anos, os registros do último trimestre foram mais elevados, enquanto em outros apresentaram reduções expressivas. Essas diferenças indicam a importância de considerar os intervalos sazonais na interpretação da atividade térmica detectada no Cerrado brasileiro.

Embora as variações possam ser discutidas à luz da literatura sobre sazonalidade climática, disponibilidade de material combustível e uso do fogo em atividades humanas, os dados utilizados nesta pesquisa não permitem identificar diretamente os fatores responsáveis pelas diferenças observadas. Portanto, os resultados são interpretados de maneira descritiva, sem estabelecer relações causais entre os registros de focos de calor e as condições ambientais ou antrópicas.

Dessa forma, a análise do período de outubro a dezembro contribui para compreender a variabilidade interanual dos registros de focos de calor e reforça a necessidade de considerar diferentes etapas do ano na avaliação temporal das queimadas no Cerrado brasileiro.

Figura 2. Focos de calor no Cerrado brasileiro de outubro a dezembro (2020-2025)



Fonte: elaboração própria com base nos dados do Programa Queimadas/INPE, satélite AQUA_M-T, extraídos em 11 de outubro de 2026.

3.3. Sazonalidade dos focos de calor no Cerrado brasileiro (2020–2025)

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise da distribuição mensal dos focos de calor no Cerrado brasileiro, entre 2020 e 2025, evidenciou um padrão sazonal caracterizado pela concentração das detecções no segundo semestre, especialmente entre agosto e outubro. A organização dos registros mensais permitiu identificar diferenças na intensidade dessa concentração entre os anos, bem como os meses que apresentaram maior participação nos acumulados anuais.

Conforme os dados apresentados na Figura 3, os primeiros meses do ano registraram, em geral, menores quantidades de focos de calor. A partir de maio, observou-se aumento dos registros, com valores mais elevados durante os meses de julho, agosto e setembro. Setembro apresentou o maior acumulado mensal em todos os anos investigados, embora a quantidade de detecções tenha variado consideravelmente entre eles.

O maior valor mensal da série ocorreu em setembro de 2024, quando foram registrados 29.319 focos de calor. Esse número representou aproximadamente 36,0% dos 81.468 registros contabilizados durante todo aquele ano. Em comparação, setembro de 2023 apresentou 13.230 detecções, correspondentes a aproximadamente 26,1% do total anual. A diferença de 16.089 registros entre esses dois meses evidencia a magnitude da variação observada, sem permitir, isoladamente, identificar suas causas.

Considerando o conjunto dos anos de 2020 a 2025, foram contabilizados 371.671 focos de calor. Desse total, setembro concentrou 112.484 registros, equivalentes a 30,3%, seguido de agosto, com 69.850 detecções (18,8%), e outubro, com 61.674 (16,6%). Juntos, esses três meses corresponderam a aproximadamente 65,6% de todos os registros do período analisado.

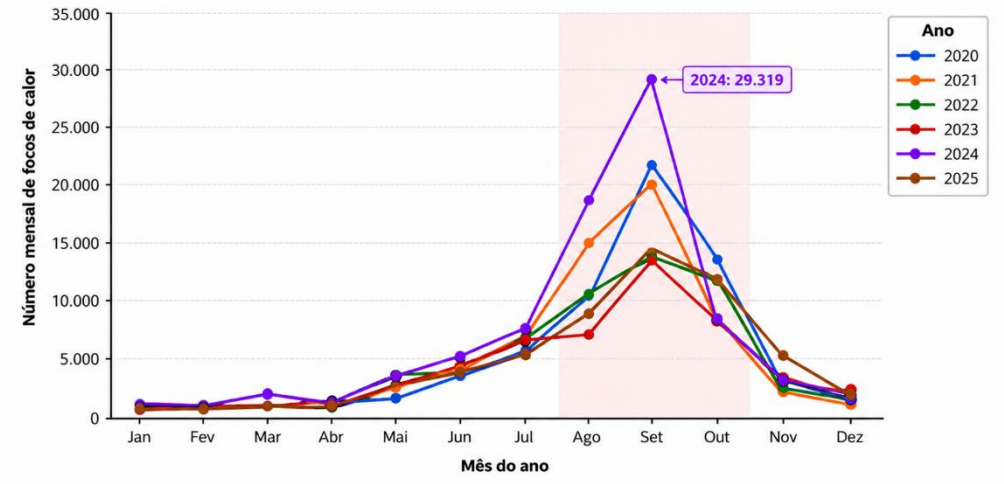
A concentração das detecções nesses meses é compatível com o comportamento sazonal frequentemente descrito para o Cerrado, em que a redução das chuvas em parte do ano pode favorecer o ressecamento da vegetação e a disponibilidade de material combustível. Entretanto, o início, a duração e a intensidade da estação seca não são uniformes em todo o bioma. Além disso, as atividades humanas e as condições meteorológicas específicas de cada ano podem influenciar a distribuição temporal das queimadas.

Assim, embora os resultados revelem um padrão de concentração sazonal, esta pesquisa não permite atribuir diretamente as variações mensais à precipitação, à umidade da vegetação ou às mudanças no uso da terra, pois essas variáveis não foram analisadas quantitativamente. Os registros demonstram a distribuição temporal dos focos de calor detectados por satélite, enquanto as possíveis explicações ambientais permanecem fundamentadas na literatura científica.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Portanto, a análise mensal complementa as comparações anuais apresentadas anteriormente e demonstra a importância de considerar tanto a sazonalidade quanto a variabilidade interanual na interpretação dos registros de focos de calor no Cerrado brasileiro.

Figura 3. Distribuição mensal dos focos de calor no Cerrado brasileiro (2020-2025)



Fonte: elaboração própria com base nos dados do Programa Queimadas do INPE, série mensal do bioma Cerrado, satélite de referência AQUA_M-T, extração em 11 de outubro de 2026.

3.4. Poluentes atmosféricos associados à combustão da biomassa

Os resultados apresentados nas seções anteriores evidenciam que a ocorrência de focos de calor no Cerrado brasileiro apresenta variações expressivas entre os anos, com maior concentração durante o período de estiagem. O aumento registrado em 2024, seguido da redução das ocorrências em 2025, demonstra a importância de compreender não apenas a frequência das queimadas, mas também suas possíveis consequências sobre a composição atmosférica e o equilíbrio dos ecossistemas.

Nesse contexto, a combustão da biomassa representa uma importante fonte de emissão de gases e partículas, incluindo dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis (COVs) e material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). Conforme discutem Pinto e Bustamante (2010), os regimes de queima interferem nos fluxos de gases-traço entre o solo e a atmosfera, evidenciando que o fogo participa das transformações químicas e dos processos biogeoquímicos do Cerrado.

A elevação dos focos de calor observada em 2024 indica maior atividade de fogo detectada por satélite, o que merece atenção diante do potencial de liberação de contaminantes

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

atmosféricos. Entretanto, não é possível afirmar que esse período apresentou, proporcionalmente, as maiores emissões de poluentes, uma vez que a quantidade liberada depende da extensão das áreas atingidas, do tipo de vegetação e da biomassa efetivamente consumida. Essa distinção é fundamental para evitar interpretações que confundam a frequência dos registros orbitais com a intensidade da poluição atmosférica.

Outro aspecto relevante refere-se à concentração sazonal das queimadas, identificada principalmente entre agosto e outubro. A ocorrência simultânea de numerosos focos pode favorecer episódios de deterioração da qualidade do ar, especialmente quando as condições meteorológicas dificultam a dispersão dos contaminantes. Nesse cenário, o material particulado fino merece atenção devido à sua capacidade de atingir regiões profundas do sistema respiratório. Furtado *et al.* (2019) discutem os efeitos da poluição atmosférica provocada pelas queimadas sobre a saúde humana, reforçando a importância da prevenção e do monitoramento ambiental.

Além dos riscos à saúde, a recorrência do fogo pode comprometer a conservação da biodiversidade e modificar processos ecológicos essenciais. Miranda (2010) demonstra que os efeitos das queimadas sobre a estrutura das comunidades vegetais dependem das características do regime de fogo. Assim, a repetição de incêndios em intervalos reduzidos pode dificultar a recuperação de determinadas espécies e favorecer alterações na composição da vegetação, sobretudo em áreas submetidas a pressões antrópicas.

Embora os registros de 2025 e dos primeiros nove meses de 2026 indiquem uma diminuição dos focos de calor em comparação com 2024, essa redução não deve ser interpretada como evidência suficiente de recuperação ambiental. A regeneração dos ecossistemas depende de processos que ultrapassam a escala temporal dos registros analisados, incluindo a recomposição da cobertura vegetal, a recuperação das propriedades do solo e a manutenção das condições necessárias à biodiversidade.

Portanto, a análise evidencia que o monitoramento dos focos de calor constitui uma ferramenta relevante para compreender a dinâmica temporal das queimadas, mas apresenta limitações para determinar seus impactos químicos de maneira quantitativa. A integração desses registros com informações sobre áreas queimadas, emissões atmosféricas e qualidade do ar permitiria avaliações mais abrangentes, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e conservação do Cerrado brasileiro.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 2. Principais substâncias associadas à combustão da biomassa e seus potenciais impactos ambientais

Substância	Origem ou formação	Potenciais impactos ambientais	Fundamentação
Dióxido de carbono (CO_2)	Oxidação do carbono da biomassa vegetal.	Intensificação do efeito estufa e alterações no ciclo do carbono.	Pinto e Bustamante (2010)
Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta da biomassa.	Toxicidade e alterações na composição atmosférica.	Pinto e Bustamante (2010)
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	Reações envolvendo nitrogênio durante a combustão.	Formação de ozônio troposférico e outros poluentes secundários.	Pinto e Bustamante (2010)
Material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10})	Emissão de partículas durante a combustão.	Redução da qualidade do ar e efeitos respiratórios e cardiovasculares.	Furtado et *al.* (2019)
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	Decomposição térmica e combustão incompleta da matéria orgânica.	Formação de ozônio e aerossóis secundários.	Fundamentação a complementar
Carbono negro	Formação de partículas carbonáceas durante a combustão incompleta.	Absorção de radiação solar e influência no balanço radiativo.	Fundamentação a complementar
Ozônio troposférico (O_3)	Formação secundária por reações fotoquímicas envolvendo NO_x e COVs.	Potenciais danos à vegetação e ao sistema respiratório.	Fundamentação a complementar

Fonte: elaboração própria com base em Pinto e Bustamante (2010) e Furtado et al. (2019).

3.5. Implicações ambientais e limitações da análise

Os resultados desta pesquisa evidenciaram variações expressivas nos registros de focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026. O maior acumulado para o intervalo de janeiro a setembro ocorreu em 2024, com 68.631 detecções, enquanto 2026 apresentou 27.407 registros no mesmo período. A análise mensal também demonstrou maior concentração dos focos durante determinados meses do segundo semestre, especialmente setembro. Esses resultados permitem caracterizar a variabilidade temporal da atividade de fogo detectada por satélite, constituindo uma base para discutir suas possíveis implicações ambientais.

O Cerrado apresenta características ecológicas relacionadas à ocorrência histórica do fogo, incluindo espécies vegetais com adaptações que favorecem sua sobrevivência e recuperação após determinados eventos. Entretanto, essas adaptações não significam que todas as queimadas sejam ecologicamente benéficas. A frequência, a intensidade, a extensão e a época de ocorrência do fogo podem influenciar a estrutura da vegetação e os processos de regeneração. Conforme discutem Coutinho (1990) e Miranda (2010), alterações no regime de fogo podem modificar a dinâmica das comunidades vegetais e comprometer a recuperação de determinados componentes da biodiversidade.

Além dos efeitos sobre a vegetação, a literatura científica aponta que as queimadas podem provocar alterações nas propriedades do solo e nos processos biogeoquímicos. A

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

combustão da matéria orgânica, a deposição de cinzas e a redução da cobertura vegetal podem modificar a disponibilidade de nutrientes, a proteção superficial do solo e sua suscetibilidade à erosão. Esses efeitos dependem das características do ambiente, das condições de combustão e do histórico de ocorrência do fogo. Portanto, não é possível afirmar que as variações anuais identificadas nesta pesquisa tenham produzido alterações proporcionais na degradação dos solos do Cerrado.

As interações entre vegetação, solo e atmosfera também podem ser modificadas pela ocorrência do fogo. Santos *et al.* (2003), ao investigarem os efeitos da queima em uma formação savânica do Cerrado, identificaram alterações nos fluxos de carbono, energia e vapor de água. Esses resultados demonstram a relevância dos processos associados ao fogo para o funcionamento dos ecossistemas, embora não possam ser utilizados para quantificar os efeitos ambientais das queimadas registradas entre 2020 e 2026.

Em relação à atmosfera, a combustão vegetal pode liberar gases e partículas capazes de alterar a qualidade do ar e participar de processos químicos atmosféricos. Entre as substâncias associadas à queima de biomassa destacam-se o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, os compostos orgânicos voláteis e o material particulado. Entretanto, a quantidade emitida depende de fatores como a extensão da área queimada, a composição e a quantidade de biomassa consumida e as condições de combustão. Assim, o maior número de focos observado em 2024 não comprova, isoladamente, que esse ano tenha apresentado as maiores emissões de todos os poluentes analisados.

As possíveis consequências para a saúde humana também merecem atenção. A exposição à fumaça proveniente das queimadas pode contribuir para o agravamento de problemas respiratórios e cardiovasculares, especialmente entre crianças, idosos e pessoas com condições de saúde preexistentes. Furtado *et al.* (2019) discutem os efeitos da poluição atmosférica causada por queimadas sobre a saúde humana, reforçando a importância de medidas de prevenção e proteção das populações expostas. Contudo, a presente pesquisa não utilizou registros de internações, mortalidade ou concentrações ambientais de poluentes, não sendo possível estabelecer associações quantitativas entre os focos de calor observados e a ocorrência de doenças no período investigado.

Uma limitação importante da investigação está relacionada à natureza dos dados utilizados. Os focos de calor correspondem a detecções de atividade térmica realizadas por sensores orbitais e não representam diretamente a quantidade individual de incêndios, a extensão das áreas queimadas ou a intensidade dos danos ambientais. Além disso,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

características do monitoramento, como resolução espacial, horário de observação e condições atmosféricas, podem influenciar a identificação das ocorrências.

Outra limitação refere-se à ausência de informações quantitativas sobre precipitação, temperatura, umidade da vegetação e mudanças no uso da terra. Embora esses fatores sejam frequentemente discutidos na literatura como elementos relacionados à ocorrência e à propagação do fogo, sua influência sobre as oscilações registradas nesta pesquisa não foi testada. Dessa forma, as explicações sobre o aumento observado em 2024 e as reduções posteriores devem ser compreendidas como possibilidades interpretativas, e não como relações causais comprovadas.

Quanto ao recorte temporal, a utilização dos acumulados de janeiro a setembro para todos os anos permitiu realizar comparações descritivas entre intervalos equivalentes. Os registros de outubro a dezembro foram examinados separadamente para os anos completos de 2020 a 2025. Esse procedimento evitou a comparação direta entre o ano parcial de 2026 e os totais anuais dos demais períodos, embora não permita antecipar o comportamento das detecções durante os últimos meses de 2026.

Diante dessas limitações, os resultados demonstram a importância de integrar os registros de focos de calor a outras informações ambientais, como dados de precipitação, áreas queimadas, cobertura vegetal, emissões atmosféricas e qualidade do ar. Essa integração poderá contribuir para investigações futuras sobre os fatores associados à variabilidade das queimadas e seus efeitos sobre os ecossistemas e as populações humanas.

Portanto, a contribuição desta pesquisa consiste em apresentar uma análise temporal dos focos de calor no Cerrado brasileiro e relacionar os resultados observados aos conhecimentos científicos sobre a combustão vegetal e seus potenciais impactos ambientais. As informações obtidas reforçam a relevância do monitoramento ambiental e da adoção de estratégias de prevenção, fiscalização e manejo integrado do fogo, respeitando as particularidades ecológicas do Cerrado e a necessidade de proteção da biodiversidade e da saúde pública.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa analisou a evolução temporal dos focos de calor no Cerrado brasileiro entre janeiro de 2020 e setembro de 2026, com base nos registros do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A análise da série mensal, obtida em 11 de outubro de 2026, permitiu identificar variações expressivas na quantidade de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

detecções ao longo do período investigado, evidenciando diferenças entre os anos e na distribuição mensal das ocorrências.

O principal destaque ocorreu em 2024, quando foram contabilizados 68.631 focos de calor entre janeiro e setembro, representando um aumento de aproximadamente 86,2% em relação ao mesmo período de 2023. Posteriormente, observaram-se reduções nos registros, com 37.315 detecções em 2025 e 27.407 em 2026, considerando intervalos equivalentes. A comparação entre períodos de mesma duração permitiu evitar interpretações inadequadas decorrentes da utilização de dados parciais referentes a 2026.

A distribuição mensal revelou maior concentração dos focos de calor durante determinados meses do segundo semestre, especialmente setembro. O maior acumulado mensal foi registrado em setembro de 2024, com 29.319 detecções. Esses resultados caracterizam a variabilidade temporal e a concentração sazonal da atividade de fogo identificada pelo monitoramento orbital, sem permitir, isoladamente, determinar os fatores responsáveis pelas oscilações observadas.

Na perspectiva da Química Ambiental, a revisão bibliográfica possibilitou discutir os processos associados à combustão da biomassa e a formação de substâncias potencialmente prejudiciais à qualidade ambiental, incluindo dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e material particulado. Entretanto, os registros de focos de calor não representam medidas diretas das emissões atmosféricas, das concentrações de poluentes ou da extensão das áreas queimadas. Dessa forma, os resultados quantitativos desta pesquisa não permitem estabelecer a magnitude dos impactos ambientais associados aos episódios de fogo.

A literatura científica também aponta possíveis consequências da exposição à fumaça das queimadas para a saúde humana, especialmente em relação aos problemas respiratórios e cardiovasculares. Contudo, a pesquisa não utilizou dados epidemiológicos ou medições da qualidade do ar, impossibilitando estabelecer associações quantitativas entre as detecções registradas e a ocorrência de doenças no período analisado.

Entre as limitações do estudo, destacam-se a utilização de dados agregados para o conjunto do bioma Cerrado, a ausência de informações quantitativas sobre precipitação, condições da vegetação, mudanças no uso da terra e emissões atmosféricas, além das limitações inerentes ao monitoramento orbital. Consequentemente, não foi possível identificar as causas específicas das variações observadas ou mensurar diretamente seus efeitos ambientais.

Quanto às implicações para a gestão ambiental, a literatura científica discutida ao longo do artigo ressalta a importância da prevenção, da fiscalização e do manejo integrado do fogo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

para a conservação dos ecossistemas. Essas medidas são apresentadas como recomendações fundamentadas no conhecimento científico disponível, e não como resultados empíricos desta pesquisa, uma vez que o estudo não avaliou diretamente a implementação ou a efetividade de políticas públicas e estratégias de manejo.

Nesse contexto, os resultados também dialogam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente o ODS 3 – Saúde e Bem-Estar, o ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima e o ODS 15 – Vida Terrestre. Essa articulação representa uma perspectiva de aplicação do conhecimento científico à proteção ambiental e à saúde pública, sem constituir uma avaliação do cumprimento desses objetivos.

Conclui-se que o monitoramento dos focos de calor constitui uma ferramenta relevante para caracterizar a variabilidade temporal da atividade de fogo no Cerrado brasileiro. Como perspectiva para futuras investigações, recomenda-se integrar os registros orbitais a dados meteorológicos, informações sobre áreas queimadas, cobertura vegetal, concentrações atmosféricas e indicadores de saúde pública. Essa abordagem poderá contribuir para uma compreensão mais abrangente dos fatores associados às queimadas e de seus potenciais impactos ambientais, oferecendo subsídios científicos para o planejamento de ações de conservação e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. A. Z.; MIRANDA, H. S. O fator fogo no banco de sementes. In: MIRANDA, H. S. (org.). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo. Brasília: Ibama, 2010. p. 123-138.

BEZERRA, D. S.; DIAS, B. C. C.; RODRIGUES, L. H. S.; TOMAZ, R. B.; SANTOS, A. L. S.; SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1998 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

COUTINHO, L. M. Fire in the Ecology of Brazilian Cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (ed.). **Fire in the Tropical Biota**: **Ecosystem Processes and Global Challenges**. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.

FURTADO, B. L. de; VALADARES, E. V.; FONSECA, J. G.; SILVA, J. P. O.; FELIPPE, N. P. de; COSTA, V. C. A.; BELARDI, R. M. Efeitos à saúde humana da intensificação da poluição atmosférica causada por queimadas. **Biodiversidade Brasileira – BioBrasil**, v. 9, n. 1, p. 125-125, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Estatísticas dos focos ativos por bioma e país: Programa Queimadas**. São José dos Campos: INPE, 2026. Disponível em: https://data.inpe.br/queimadas/estatisticas/?tipo=biomas&item=cerrado. Acesso em: 11 out. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

LUCENA NETO, A. P. de; NOBRE, F. S.; MARTINS, F. R. S.; SILVA, I. R. da. Impactos ambientais no Cerrado maranhense. In: BRANCO, J. O.; CIONEK, V. M. (org.). **Conservação da Biodiversidade na Região Tocantina do Maranhão**. Itajaí: UNIVALI, 2023. p. 50-67.

MEIRELLES, M. L.; KLINK, C. A.; SOUSA-SILVA, J. C. Um modelo de estados y transiciones para el cerrado brasileño. **Ecotropicos**, v. 10, p. 45-50, 1997.

MIRANDA, H. S. (org.). **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado**: Projeto Fogo. Brasília: Ibama/Prevfogo, 2010. 144 p.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: MMA, 2005. p. 93-105.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 11 out. 2026.

PINTO, A. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. Emissões de gases-traço (CO_2, CO, NO e N_2O) do solo para a atmosfera em fitofisionomias de Cerrado sob diferentes regimes de queima. In: MIRANDA, H. S. (org.). **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado**: **Projeto Fogo**. Brasília: Ibama, 2010. p. 47-58.

SANTOS, A. J. B.; SILVA, G. T.; MIRANDA, H. S.; MIRANDA, A. C.; LLOYD, J. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil. **Functional Ecology**, v. 17, p. 711-719, 2003.

SANTOS, L. A. A destruição da biodiversidade como emergência para saúde global: um panorama teórico com base nas publicações nacionais realizadas na última década. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 3, p. 12-24, 2021.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. de; RODRIGUES, B. D. Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 35, p. 1-14, 2018.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. O conceito de savana e de seu componente Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado**: **ecologia e flora.** Brasília: Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008. p. 19-45.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.