

**MUDANÇAS NOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA VEGETAÇÃO PROVOCADAS
POR INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS
GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL**

**CHANGES IN VEGETATION BIOPHYSICAL PARAMETERS ASSOCIATED WITH
FOREST FIRES IN CHAPADA DOS GUIMARÃES NATIONAL PARK, MATO
GROSSO, BRAZIL**

**CAMBIOS EN LOS PARÁMETROS BIOFÍSICOS DE LA VEGETACIÓN ASOCIADOS
A INCENDIOS FORESTALES EN EL PARQUE NACIONAL CHAPADA DOS
GUIMARÃES, MATO GROSSO, BRASIL**

Celso de Arruda Souza

Pós Doutorado em Ciências Ambientais Universidade de Cuiabá (2024-2026). Especialista em Meio Ambiente com experiência em Serviços Ecossistêmicos da Amazônia Legal e Socioambiental (CRbio 113204/01D ativo). E-mail celso.bio@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1161-9242>

Oswaldo Borges Pinto Junior

Professor da Universidade de Cuiabá (UNIC) e Coordenador do Programa de Pós-graduação stricto sensu em Ciências Ambientais da UNIC. E-mail osvaldo.borges@cogna.com.br

 <https://orcid.org/0000-0003-2653-5460>

Marcelo Dias de Souza

Engenharia Florestal com Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), possui Doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail marcelo.dsouza@ktoton.com.br

 <https://orcid.org/0000-0002-4348-4645>

Felipe Henrique Soares de Souza

Acadêmico de Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Técnico em agrimensura pelo Instituto Federal de Mato Grosso (2022 -2025). E-mail felipehenriquesousa306@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-2620-8231>

Elias Cleyton Siqueira Lira

Licenciatura Geografia (2008-2013) pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestrando em Ciências Ambientais pela Universidade de Cuiabá Contato. E-mail cleytonlira20@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-2738-5526>

RESUMO: O Cerrado caracteriza-se por um mosaico de formações campestres, savânicas e florestais, associado a solos predominantemente ácidos e de baixa fertilidade, além de um regime climático sazonal, com estações seca e chuvosa bem definidas. No Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), a recorrência de incêndios florestais representa um importante fator de influência sobre a dinâmica da vegetação e a manutenção dos processos ecológicos. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo aplicar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para mensurar a quantidade e o vigor da vegetação nas áreas protegidas do parque, no período de 2019 a 2025. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: (i) levantamento dos focos de calor utilizando a plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS); (ii) aplicação da estimativa de densidade Kernel para identificar e classificar a concentração espacial dos focos de calor; e (iii) cálculo do NDVI a partir de imagens do satélite Sentinel-2, seguido de análises estatísticas realizadas no software R. Os resultados demonstraram que a maior recorrência de incêndios concentrou-se nas classes Alta (8,62%), Muito Alta (7,40%) e Média (7,35%), enquanto as classes Muito Baixa (49,00%) e Baixa (27,60%) corresponderam a aproximadamente 76,6% da área do Parque, indicando que a maior parte da unidade de conservação apresenta baixa frequência de ocorrência de focos de calor. Durante o período chuvoso, observou-se maior similaridade entre as classes NDVI Muito Baixo, NDVI Baixo e NDVI Médio, evidenciando a influência da disponibilidade hídrica na recuperação parcial do vigor vegetativo. Em contrapartida, as classes NDVI Alto e NDVI Muito Alto, associadas às áreas com maior recorrência de incêndios, mantiveram padrões semelhantes, indicando que os efeitos do fogo sobre a cobertura vegetal persistem mesmo durante a estação chuvosa. Destaca-se ainda a importância do monitoramento contínuo no Parque.

Palavras-chave: Cerrado, Manejo do Fogo, Unidade de Conservação, NDVI.

ABSTRACT: The Cerrado is characterized by a mosaic of grassland, savanna, and forest formations associated with predominantly acidic, low-fertility soils, as well as a seasonal climate with well-defined dry and rainy seasons. In the Chapada dos Guimarães National Park (PNCG), the recurrence of wildfires represents an important factor influencing vegetation dynamics and the maintenance of ecological processes. In this context, this study aimed to apply the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to quantify vegetation cover and assess vegetation vigor within the park's protected areas during the period from 2019 to 2025. The research was conducted in three stages: (i) mapping fire hotspots using the *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) platform; (ii) applying Kernel Density Estimation (KDE) to identify and classify the spatial concentration of fire hotspots; and (iii) calculating NDVI from Sentinel-2 satellite imagery, followed by statistical analyses performed using the R software. The results showed that the highest recurrence of wildfires was concentrated in the High (8.62%), Very High (7.40%), and Medium (7.35%) hotspot density classes, whereas the Very Low (49.00%) and Low (27.60%) classes accounted for approximately 76.6% of the park's area, indicating that most of the protected area experiences a low frequency of fire occurrence. During the rainy season, greater similarity was observed among the Very Low NDVI, Low NDVI, and Medium NDVI classes, highlighting the influence of water availability on the partial recovery of vegetation vigor. In contrast, the High NDVI and Very High NDVI classes, associated with areas of greater wildfire recurrence, exhibited similar patterns, indicating that the effects of fire on vegetation cover persist even during the rainy season. These findings underscore the importance of continuous environmental monitoring in the Park.

Keywords: Cerrado; Fire Management; Protected Area; NDVI.

RESUMEN: El Cerrado se caracteriza por un mosaico de formaciones campestres, sabánicas y forestales, asociado a suelos predominantemente ácidos y de baja fertilidad, además de un régimen climático estacional con estaciones seca y lluviosa bien definidas. En el Parque Nacional de la Chapada dos Guimarães (PNCG), la recurrencia de incendios forestales representa un importante factor que influye en la dinámica de la vegetación y en el mantenimiento de los procesos ecológicos. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo aplicar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para cuantificar la cobertura y el vigor de la vegetación en las áreas protegidas del parque durante el período comprendido entre 2019 y 2025. La investigación se desarrolló en tres etapas: (i) levantamiento de los focos de calor mediante la plataforma Fire Information for Resource Management System (FIRMS); (ii) aplicación de la estimación de densidad Kernel para identificar y clasificar la concentración espacial de los focos de calor; y (iii) cálculo del NDVI a partir de imágenes del satélite Sentinel-2, seguido de análisis estadísticos realizados con el software R. Los resultados demostraron que la mayor recurrencia de incendios se concentró en las clases Alta (8,62 %), Muy Alta (7,40 %) y Media (7,35 %), mientras que las clases Muy Baja (49,00 %) y Baja (27,60 %) representaron aproximadamente el 76,6 % de la superficie del parque, lo que indica que la mayor parte del área protegida presenta una baja frecuencia de ocurrencia de focos de calor. Durante la estación lluviosa, se observó una mayor similitud entre las clases NDVI Muy Bajo, NDVI Bajo y NDVI Medio, lo que evidencia la influencia de la disponibilidad hídrica en la recuperación parcial del vigor de la vegetación. En contraste, las clases NDVI Alto y NDVI Muy Alto, asociadas a las áreas con mayor recurrencia de incendios, mantuvieron patrones similares, indicando que los efectos del fuego sobre la cobertura vegetal persisten incluso durante la estación lluviosa. Asimismo, se destaca la importancia del monitoreo ambiental continuo en el Parque.

Palabras clave: Cerrado; Manejo del fuego; Área protegida; NDVI.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é caracterizado por um mosaico de formações campestres, arbustivas e florestais, sustentado por solos geralmente ácidos e pobres em nutrientes e por um regime climático sazonal — com estações chuvosa e seca bem definidas (SEGURA-GARCIA *et al.*, 2024). Abrigando uma das maiores biodiversidades do planeta, com elevado número de espécies endêmicas, o Cerrado exerce papel estratégico para a manutenção dos recursos hídricos, pois alimenta as principais bacias hidrográficas do Brasil (SERRÃO *et al.*, 2025; VIEIRA-ALENCAR, *et al.*, 2025). Além disso, presta serviços ecossistêmicos fundamentais, como a regulação do ciclo hidrológico, o sequestro e armazenamento de carbono, a proteção do solo contra erosão, a manutenção da fertilidade natural, a polinização, a dispersão de sementes e a conservação de habitats para fauna e flora (DE ARRUDA SOUZA *et al.*, 2024b; PEREIRA *et al.*, 2026). Reconhecido como o segundo maior bioma do país, cobrindo mais de 23% do território do Brasil, o Cerrado é essencial para a estabilidade ecológica e para o equilíbrio ambiental em escala local, regional e nacional (BRASIL 2023). O Cerrado tem passado por constante mudança antrópica desencadeado pelo desmatamento, que são fontes de ignição que desencadeiam os incêndios florestal que causa diverso impacto na redução da biomassa e da cobertura do dossel, e mortalidade de animais. (SANTOS *et al.*, 2024; NEGER *et al.*, 2024; SPADONI *et al.*, 2025).

No Cerrado, a principal fonte de ignição dos incêndios florestais está relacionada às atividades humanas, exercendo influência direta sobre a composição e a estrutura dos ecossistemas. Além disso, os incêndios podem provocar alterações irreversíveis, nas

propriedades do solo e contribuir para mudanças nas condições climáticas locais (SPADONI *et al.*, 2025; DE LIMA *et al.*, 2026). O uso do fogo no Cerrado apresenta três principais finalidades: (1) a conversão de áreas desmatadas em espaços destinados à produção agropecuária; (2) a manutenção de pastagens, com o objetivo de impedir o avanço da vegetação secundária; e (3) a aplicação como instrumento de gestão territorial, por meio do manejo do fogo controlado ou queima prescrita (SILVA *et al.*, 2025). Além das ignições de origem antrópica, diversos fatores ambientais contribuem para a intensificação dos incêndios, destacando-se as condições climáticas e as características estruturais da vegetação do Cerrado (DA SILVA ARRUDA *et al.*, 2024). A ausência prolongada de precipitação resulta na redução da umidade da biomassa vegetal, enquanto as elevadas temperaturas favorecem a combustão, criando um ambiente altamente propício à ocorrência e à propagação do fogo (FORTEL *et al.*, 2025). Embora a fisionomia do Cerrado é altamente variável, com a passagem do fogo, especialmente em áreas de matas ciliares, que são sensíveis ao fogo, e em outras vegetações dependentes da umidade ao longo dos corredores ribeirinhos (DA SILVA ARRUDA *et al.*, 2024). Por outro lado, Kim *et al.* (2025) ressaltam que os incêndios desempenham um papel significativo na ecologia do Cerrado, impactando o balanço de carbono por meio da renovação da vegetação viva, da decomposição de matéria orgânica e da seleção de espécies endêmicas adaptadas ao fogo. Para Hulme *et al.* (2025) afirmaram que os incêndios florestais constituem um importante via de entrada para espécies exóticas invasoras, cuja introdução está associada a alguns dos principais vetores de perda de biodiversidade em ecossistemas terrestres (ORTEGA-ARGUETA, 2026). Nesse contexto, destaca-se o Quadro Global da Biodiversidade Kunming-Montreal (GBF), que estabelece metas globais ambiciosas para reduzir, até 2030, a perda de biodiversidade causada por espécies exóticas invasoras e orientará a agenda de conservação na próxima década (HULME *et al.*, 2025). As relações ecológicas e a biodiversidade do Cerrado são altamente dependentes da dinâmica do fogo, uma vez que o bioma coevoluiu com ele (DA SILVA ARRUDA *et al.*, 2024b; DOS SANTOS; DA SILVA, 2025).

Embora os eventos climáticos de seca extrema tenham se tornado mais frequentes, prolongados e intensos devido à ausência de precipitação, o risco de incêndios na vegetação do Cerrado da América do Sul aumentou significativamente (MONTEIRO DOS SANTOS *et al.*, 2024). No Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, tais eventos naturais extremos ocorrem com recorrência, e seus impactos climáticos são relativamente bem compreendidos. Contudo, ainda persiste uma lacuna substancial no entendimento sobre como esses fenômenos afetam a densidade e o vigor da vegetação, especialmente considerando a ocorrência repetitiva de incêndios Florestais que se verificam anualmente nessa Unidade de Conservação. Nesse contexto, diante da ocorrência repentina e frequente de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e de seus efeitos sobre a densidade da vegetação, este estudo tem como objetivo aplicar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para mensurar a quantidade e o vigor da vegetação nas áreas protegidas do parque, no período de 2019 a 2025. Acredita-se que a recorrência desses incêndios florestais na unidade de conservação esteja influenciando diretamente o vigor da vegetação do Cerrado.

Vale destacar que o Brasil, há décadas, vem investindo em políticas e práticas de manejo do fogo com o objetivo de reduzir a ocorrência de focos de incêndio. Nesse contexto, diversos programas implementados no bioma Cerrado, conduzidos por instituições públicas, como o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), têm destinado significativos recursos humanos e operacionais ao combate direto às chamas no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Paradoxalmente, essas ações também resultam em aumento dos custos associados aos impactos dos incêndios florestais. O Manejo Integrado do Fogo (MIF) constitui uma estratégia que inclui a utilização da queima prescrita como técnica preventiva para reduzir o risco de incêndios de grandes proporções no parque (ICMBio, 2024). Esse tipo de manejo baseia-se em três pilares fundamentais: a ecologia do fogo (que estuda como o fogo afeta a vegetação), o uso do fogo (quem o utiliza, de que forma e com qual finalidade) e o controle do fogo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo foi estruturado em três etapas principais. Na primeira etapa, realizou-se o levantamento dos focos de calor disponibilizados pela plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), a fim de processar e organizar os dados referentes aos incêndios florestais. Na segunda etapa, aplicou-se a técnica de densidade Kernel para classificar a concentração dos focos de calor em cinco categorias: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. Por fim, na terceira etapa, efetuou-se o download das imagens do satélite Sentinel-2 para obter o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizado para mensurar a quantidade e o vigor da vegetação. Os valores obtidos do NDVI foram posteriormente submetidos à análise estatística por meio do software R.

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), cuja fisionomia do Cerrado é altamente variável, sendo influenciada pelas condições climáticas, pelos tipos de solo e pelos regimes de fogo. Essa diversidade abrange formações savânicas e campestres dependentes do fogo, além de matas ciliares e outras formações vegetais associadas aos corredores ripários, que apresentam maior sensibilidade aos incêndios e dependem da disponibilidade hídrica para sua manutenção (ICMBIO, 2009; DA SILVA ARRUDA *et al.*, 2024).

Foram realizadas duas campanhas de vistoria em campo: uma durante o período chuvoso (novembro a abril) e outra no período seco (julho a setembro). As visitas tiveram como objetivo avaliar as condições da vegetação após a ocorrência de incêndios florestais, considerando aspectos fenológicos característicos do Cerrado, bem como atributos estruturais e indicadores de regeneração da vegetação. Para esse monitoramento, foram selecionados dez pontos georreferenciados distribuídos na área de estudo. Esses pontos serviram como referência para a análise comparativa da dinâmica da vegetação em resposta às diferentes intensidades de fogo observadas ao longo das duas estações de monitoramento. A localização dos pontos amostrais é apresentada na figura 1.

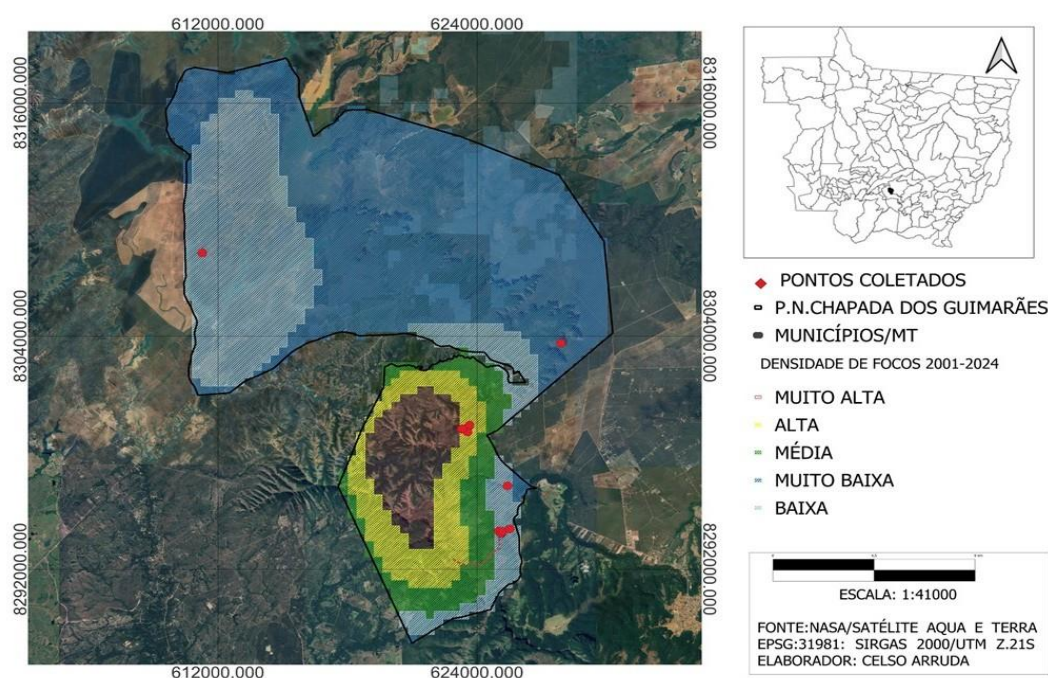


Figura 1: Pontos georreferenciados distribuídos na área de estudo PNCG

2.3 Delimitação dos produtos cartográficos para a área de estudo

2.3.1 Dados de focos de calor

A coleta dos dados de focos de calor foi realizada por meio da plataforma *Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*, os dados foram obtidos para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025, no formato *shapefile*, que armazena informações vetoriais e atributos geoespaciais, possibilitando a realização de análises espaciais detalhadas, estão disponibilizadas para downloads gratuitamente em <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>.

2.4 Densidade Kernel de Incêndios

Para identificar as áreas prioritárias para o combate aos focos de calor, foi utilizada a estimativa de densidade Kernel, que transforma a distribuição pontual dos focos de calor em uma superfície contínua de densidade, permitindo identificar regiões com maior e menor concentração de ocorrências. O método atribui maior influência aos pontos mais próximos e menor peso aos mais distantes, considerando parâmetros como a largura de banda e o número de observações (TOBLER, 1970; FUENZALIDA *et al.*, 2013; SALVATI; FERRARA, 2015). A modelagem foi realizada com um raio de busca de 9.051 m, definido pela regra de Silverman (1998), amplamente utilizada por fornecer resultados consistentes em análises espaciais da distribuição de eventos.

2.5 Processamento para obtenção do índice de vegetação (NDVI)

Utilizaram-se imagens do satélite Sentinel-2, disponibilizadas gratuitamente para download no portal Copernicus em <https://www.copernicus.eu/pt-pt> (ESA, 2021). Na sequência, foram analisados os anos de março de 2019 a março de 2025, para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Esse índice corresponde a um indicador do vigor da vegetação natural, sendo amplamente utilizado para avaliar a condição da cobertura vegetal (HUETE; JACKSON; POST, 1985; HUETE; JUSTICE; LIU, 1994; MYNENI; ASRAR, 1994).

O NDVI é calculado a partir da refletância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Red), conforme a Equação (1), em que NIR representa a refletância na faixa do infravermelho próximo e Red representa a refletância na faixa do vermelho (ROUSE *et al.*, 1974).

$$\text{Equação (2): NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}})$$

Onde:

ρ_{NIR} = Refletância na banda no infravermelho próximo;

ρ_{red} = Refletância na banda do vermelho;

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

2.6 Análise estatísticos não paramétricos

Os efeitos dos focos de calor sobre as propriedades físicas e químicas do solo, bem como sobre os parâmetros espectrais da vegetação do Cerrado (reflectância associada ao NDVI), foram avaliados por meio de procedimentos estatísticos não paramétricos (ZSIGMOND; BAKACSI; HOREL, 2025). Para a identificação de padrões estruturais entre as diferentes classes de intensidade dos focos de calor (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto), aplicou-se a análise de agrupamento hierárquico (*cluster analysis*), a fim de verificar a coerência da organização dos grupos em função da variabilidade espectral da vegetação (GURGEL, *et al.*, 2003; POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2022).

Os dados foram organizados em duas matrizes independentes, correspondentes aos períodos seco e chuvoso, conforme as datas de aquisição das imagens. O agrupamento foi realizado por meio do método hierárquico aglomerativo, utilizando a distância euclidiana entre as observações como medida de dissimilaridade. O algoritmo de fusão adotado foi o método de Ward (ward.D2), por apresentar menor tendência à formação de *clusters* distorcidos e por minimizar a variância interna a cada etapa de aglomeração. Para cada período (seca e chuva), foi gerado um dendrograma representando a estrutura hierárquica dos agrupamentos, sendo as análises realizadas pelo *software R* (<https://cran.r-project.org/>).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante desse cenário, o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães registrou um total de 2.825 focos de calor, considerando os cinco principais satélites analisados no período de 2019 a 2025, representado na tabela 1. Esses valores possibilitaram classificar a concentração espacial dos focos de calor em cinco categorias de intensidade. Compreender a importância e a dinâmica do efeito mediador da vegetação na relação entre os focos de calor e a sazonalidade (fogo-clima) é, portanto, essencial para melhor informar o manejo do fogo no bioma Cerrado do PNCG (CARVALHO *et al.*, 2025; MASSI *et al.*, 2026).

Tabela 1– Distribuição dos focos de calor detectados no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (2019–2025).

Satélite/Sensor	Total de focos de calor	Ano de maior ocorrência	Período de maior concentração	Percentual (%)	Observações
J1 VIIRS C2	897	2024	Agosto	8,3	Em 2024 foram registrados 529 focos de calor.
			Setembro	77,1	Agosto e setembro concentraram a maior parte dos focos de 2024.
J2 VIIRS C2	486	2024	Setembro	71,1	Setembro concentrou a maior parte dos registros totais.
MODIS (TERRA/AQUA)	215	2019 e 2024	Agosto e setembro (2019)	31,6	Percentual referente ao total registrado em 2019.
			Agosto e setembro (2024)	48,8	Percentual referente às detecções de 2024.
SUOMI VIIRS C2	913	2024	Julho, agosto e setembro (2019)	30,0	Percentual referente ao total anual de 2019.
			Agosto e setembro (2024)	47,53	Percentual referente ao total anual de 2024.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do FIRMS/NASA (2025).

As relações ecológicas e a biodiversidade do Cerrado são altamente dependentes da dinâmica do fogo (DA SILVA ARRUDA *et al.*, 2024). Vale destacar que outras categorias de áreas de conservação também vêm sofrendo com as mudanças no uso e ocupação da cobertura do solo e sua relação com a ocorrência de incêndios.

A área com menor incidência — considerada a mais preservada, conforme verificado durante a visita *in loco* — corresponde à classe "Muito Baixa", que representa 49,00% da área total do PNCG, seguida pela classe "Baixa", que abrange 27,60% do território do Parque (FIGURA 2).

Diante disso, o PNCG é responsável pela preservação de amostras importantes da geodiversidade, sendo mais eficiente e funcionando como uma salvaguarda que conecta as áreas não protegidas do entorno (SILVA *et al.*, 2025). O PNCG sustenta-se na premissa de que os

impactos sobre a biodiversidade e os habitats naturais desencadeiam um efeito em cascata de longo prazo, repercutindo em todos os serviços ecossistêmicos, como ecoturismo, polinização, dispersão de sementes, controle biológico de pragas e processos de recuperação ambiental (SOBREIRA *et al.*, 2025). Os efeitos prolongados dos incêndios florestais sobre esses serviços ecossistêmicos, bem como sobre o funcionamento dos ecossistemas, suas funções ecológicas e os mecanismos de restauração ambiental, tendem a ser incalculáveis, impactando negativamente a biodiversidade local (De ARRUDA SOUZA *et al.*, 2024a).

Em contraste, as áreas com maior ocorrência de focos de calor distribuem-se nas classes "Alta" (8,62%), "Muito Alta" (7,40%) e "Média" (7,35%). É importante ressaltar que essa área do PNCG é utilizada para queima prescrita pela gestão do Parque. Para Hsu *et al.* (2025), a queima prescrita é uma ferramenta de gestão da terra amplamente utilizada para reduzir o risco de incêndios florestais. Silva *et al.* (2025) afirmam que a queima prescrita é uma ação altamente perturbadora para o bioma Cerrado, especialmente quando há alta pressão antrópica, assim como a influência humana na atividade do fogo, utilizada pelas comunidades do entorno da área protegida. Nesse sentido, o monitoramento de áreas protegidas deve ser constante, especialmente nas suas fronteiras, para evitar que incêndios relacionados à vegetação invadam áreas adjacentes (DE ARRUDA SOUZA *et al.*, 2024c; SPADONI *et al.*, 2025; CRUZ *et al.*, 2026).

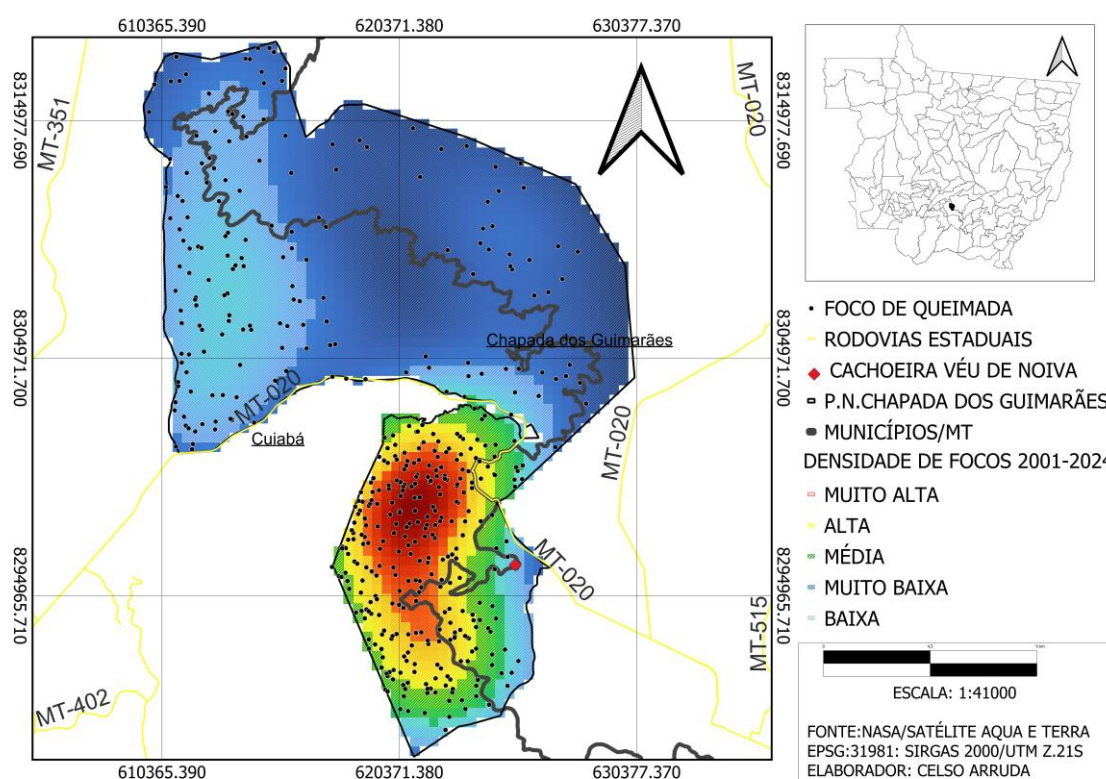


Figura 2: Concentração espacial dos focos de calor do PNCG.

3.2 Parâmetros espectrais da vegetação do PNCG no período sazonais Seco e Chuvoso.

O padrão de agrupamento observado durante o período de estiagem evidencia dois "tipos" de ambiente quanto ao histórico dos focos de calor. As emissões de fogo estão relacionadas à quantidade de biomassa de vegetação disponível para combustão, associada às condições de baixa umidade, que favorecem a queima (FORKEL *et al.*, 2025; DESCALS; JANSSENS; PEÑUELAS, 2026). As classes NDVI-Alta e NDVI-Muito Alta, que representam as áreas mais impactadas pelo fogo, formam um grupo coeso, indicando que compartilham uma

dinâmica semelhante. Essas áreas provavelmente correspondem a locais onde os incêndios são recorrentes ou intensos, o que resulta em uma maior proporção de áreas detectadas com níveis altos de impacto. A ocorrência de incêndios pode ser intensificada em períodos mais secos, quando a biomassa acima do solo apresenta menor teor de umidade, tornando-se mais inflamável. Além disso, eventos extremos de seca agravam os impactos dos incêndios florestais. Nesse contexto, eventos climáticos extremos, incluindo desastres associados a secas prolongadas e a alterações nos padrões de temperatura, contribuem para o aumento da frequência e da intensidade desses incêndios (CARLOS *et al.*, 2025; CHAPMAN E PERES, 2026; XU *et al.*, 2026).

O segundo agrupamento, composto pelas classes NDVI-Baixo e NDVI-Muito Baixo, abrange áreas com menor ocorrência de incêndios, sugerindo regiões mais preservadas, com maior continuidade de vegetação e menor exposição recente ao fogo, conforme representado na Figura 3.

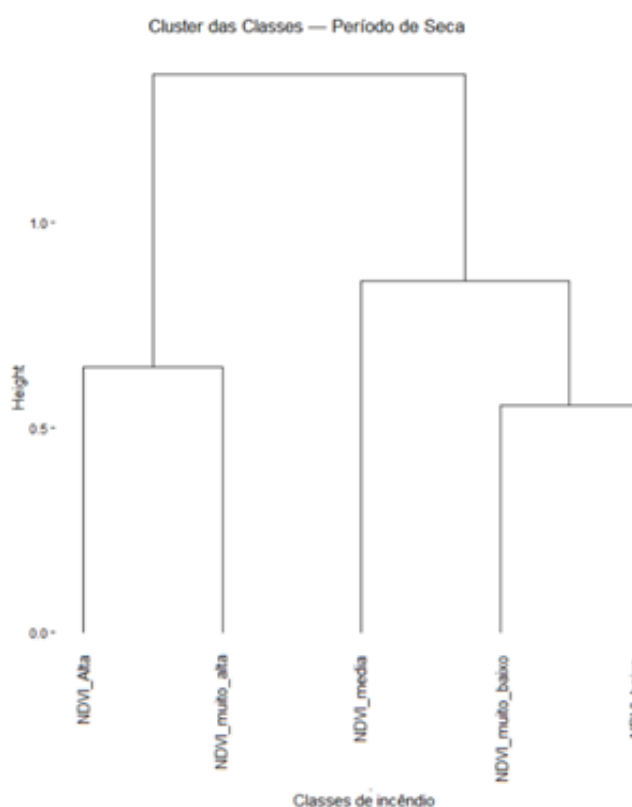


Figura 3: Concentração espacial dos focos de calor e NDVI do PNCG no período Seco.

A inclusão inicial da classe NDVI-Média nesse grupo indica que, durante a seca, áreas com histórico moderado de incêndio se comportam de maneira mais semelhante às áreas com menor impacto, possivelmente porque o estresse hídrico aumenta o contraste entre locais queimados e não queimados. Entretanto, as condições de seca têm se intensificado em decorrência das mudanças climáticas (HOFMANN *et al.*, 2021). Quando associadas a atividades humanas, como o desmatamento, a expansão agrícola e o manejo insustentável da terra, essas condições estão ampliando tanto a frequência quanto a extensão dos incêndios no Cerrado. Como resultado, esses fatores impactam profundamente o regime de incêndios, que é definido pelo padrão, frequência, intensidade e sazonalidade das queimadas em um determinado ecossistema (SCHMIDT *et al.*, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2021).

Durante o período de chuvas, o agrupamento revela uma separação ainda mais clara entre

os ambientes com baixa e alta ocorrência de focos de calor. As classes NDVI-Alta e NDVI-Muito Alta, associadas a áreas mais afetadas pelo fogo, formam novamente um grupo coeso, indicando que o padrão de recorrência das queimadas permanece consistente, mesmo sob maior disponibilidade hídrica (FIGURA 4).

Isso sugere que essas áreas possuem características estruturais e ambientais que favorecem a repetição dos incêndios, como a presença de material combustível acumulado ou um histórico de fogo recorrente. É importante destacar que a ocorrência de incêndios florestais em áreas protegidas desempenha papel relevante nas alterações graduais do clima global. Em 2024, estimou-se que a remoção da cobertura vegetal associada a incêndios de origem natural e antrópica tenha resultado na emissão de aproximadamente 4,2 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (ORÇAMENTO GLOBAL DE CARBONO, 2024).

De maneira geral, a ocorrência de incêndios está associada à ausência de manejo adequado da vegetação, combinada com condições climáticas favoráveis à propagação do fogo, como altas temperaturas, baixa umidade do ar, escassez de precipitação e ventos intensos (TOMAS *et al.*, 2024). Nesse contexto, Cui *et al.* (2026) relatam que a redução na precipitação, estimada entre 52% e 72%, está principalmente relacionada ao desmatamento generalizado nas regiões da bacia sul e nas áreas a sota-ventos da América do Sul. Segundo os autores, o desmatamento reduz significativamente a umidade proveniente das florestas, aumenta a estabilidade atmosférica e intensifica a saída de umidade para a atmosfera, resultando na diminuição dos índices de precipitação.

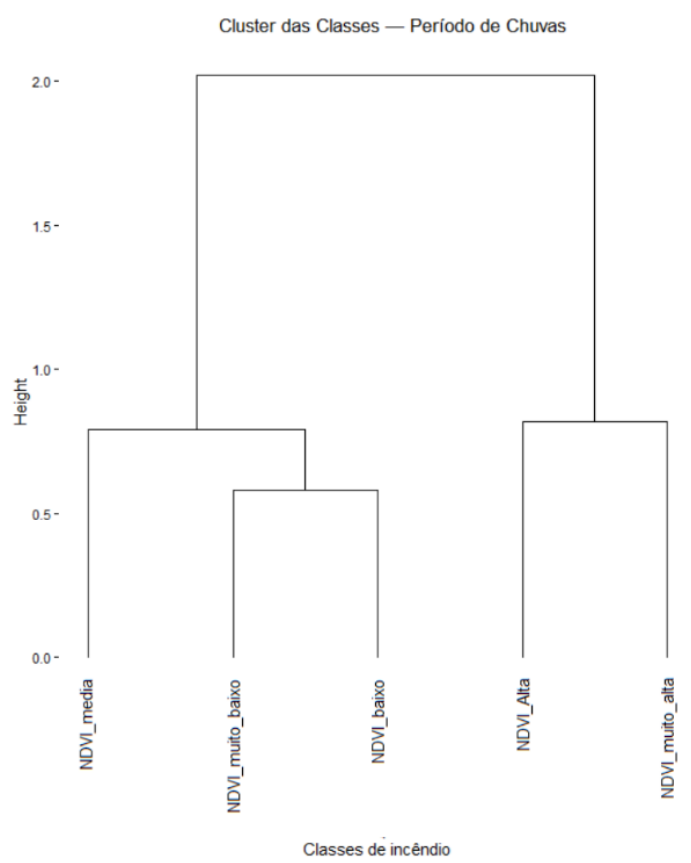


Figura 4: Concentração espacial dos focos de calor e NDVI do PNCG no período Chuvoso.

Além disso, as condições durante a estação de crescimento da vegetação exercem influência significativa na estrutura da cobertura vegetal e, consequentemente, na

disponibilidade de material combustível (SANTOS *et al.*, 2024). Nesse contexto, observa-se que as classes NDVI Muito Baixo, NDVI Baixo e NDVI Médio apresentaram maior similaridade durante o período chuvoso, indicando um processo de recuperação da vegetação. Esse comportamento sugere que, nesse período, as diferenças entre áreas pouco afetadas e áreas moderadamente impactadas pelo fogo tornam-se menos evidentes.

O aumento da umidade do solo e o crescimento vegetativo favorecem a homogeneização desses ambientes, reduzindo o contraste em relação às áreas com menor recorrência de queimadas. A inclusão da classe NDVI Médio nesse agrupamento reforça a hipótese de que, com o aumento do vigor vegetativo, áreas com impacto intermediário tendem a se aproximar mais do padrão observado em áreas preservadas do que daquelas intensamente queimadas. As áreas protegidas, incluindo as unidades de conservação, constituem pilares fundamentais para a conservação da biodiversidade. Contudo, ainda persistem incertezas e debates quanto à efetividade dessas áreas na proteção dos ecossistemas frente à ocorrência de incêndios, especialmente em cenários de intensificação das pressões antrópicas e das mudanças climáticas (GUEDES; ARAÚJO, 2026).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a ocorrência de focos de calor no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães apresenta forte sazonalidade, com maior concentração nos meses de agosto e setembro, período caracterizado pela redução da precipitação, baixa umidade relativa do ar e maior disponibilidade de material combustível. A análise da distribuição espacial demonstrou que as áreas de maior recorrência de incêndios concentram-se nas classes Alta (8,62%), Muito Alta (7,40%) e Média (7,35%). Em contrapartida, as classes Muito Baixa (49,00%) e Baixa (27,60%) abrangem aproximadamente 76,6% da área do Parque, indicando que grande parte da unidade de conservação apresenta baixa frequência de ocorrência de focos de calor. Entretanto, a persistência de incêndios, tanto de origem natural quanto antrópica, constitui um dos principais fatores de pressão sobre os ecossistemas protegidos, comprometendo a conservação da biodiversidade e os objetivos de proteção integral da unidade.

A integração entre a análise da recorrência dos focos de calor e os índices de vegetação (NDVI) permitiu identificar padrões espaciais consistentes na resposta da cobertura vegetal aos regimes de fogo. As classes NDVI Muito Baixo e NDVI Baixo apresentaram comportamento semelhante, estando associadas a áreas com menor recorrência de incêndios e maior continuidade da cobertura vegetal, indicando condições ambientais relativamente mais preservadas. Durante o período chuvoso, observou-se maior similaridade entre as classes NDVI Muito Baixo, NDVI Baixo e NDVI Médio, evidenciando a influência da disponibilidade hídrica na recuperação parcial do vigor vegetativo. Em contraste, as classes NDVI Alto e NDVI Muito Alto, correspondentes às áreas submetidas à maior recorrência de incêndios, permaneceram agrupadas, demonstrando que os efeitos do fogo sobre a estrutura e a dinâmica da vegetação persistem mesmo durante a estação chuvosa.

Os resultados evidenciaram que áreas com diferentes recorrências de queimadas apresentam trajetórias ecológicas distintas, indicando que a intensidade e a frequência do fogo influenciam diretamente a dinâmica da cobertura vegetal no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. A análise integrada da densidade Kernel e do NDVI mostrou-se eficiente para identificar padrões espaço-temporais dos incêndios e monitorar a resposta da vegetação. Recomenda-se que estudos futuros utilizem séries temporais mais longas, índices espectrais complementares (EVI, NBR e DNBR) e variáveis climáticas e ambientais para aprimorar a compreensão dos efeitos do fogo e subsidiar estratégias de manejo e conservação do Cerrado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento – 001, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá.

REFERÊNCIAS

AMATULLI, G.; RODRIGUES, M. J.; TROMBETTI, M.; LOVREGLIO, R. Assessing long-term fire risk at local scale by means of decision tree technique. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.112, n.4, p. 1-22, 2007.

BAJOCCO, S.; ANGELIS, A.; PERINI, L.; FERRARA, A. SALVATI, L. The Impact of Land Use/Land Cover Changes on Land Degradation Dynamics: A Mediterranean Case Study. **Environmental management**, v. 49, v. 9, p. 980 – 993, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9831-8>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no bioma cerrado (PPCerrado): 4ª fase (2023 a 2027) [recurso eletrônico] Brasília : MMA, 2023.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 10 set. 2025.

CARVALHO, R. B., R. B.; MENOR, I. O.; SCHMIDT, I. B.; BERLINCK, C. N.; GENES, L.; DIRZO, R. Brazil on fire: Igniting awareness of the 2024 wildfire crisis. **Journal of Environmental Management**, v. 389, p. 126190, 2025.

CARLOS, D.-P.; MONTEIRO, P.; DIRETORES, B.; TOSI, A.; CLAUDIA, F.; LEITÃO, S.; VIEIRA, W.; GERAL, G.; CAROLINA, A.; SECRETÁRIO, A.; CLAUDIO, E.; CORREA, M.; DE COMUNICAÇÃO, A.; PORTELLA, J.; DELIBERATIVO, C.; DE FREITAS BARBOSA, A.; NASCIMENTO, Â.; PORFÍRIO DE MATOS, A.; FERNANDO, N.; MANSOR, A.; FLÁVIO, M.; GAITÁN, A.; DE SALES, F.; HELENA, G.; MARTINS, M.; LUIZ, L.; RODRIGUES DE PAULA, F.; MELLO, M.; VERA, M.; CEPÊDA, A.; GUEDES, F.; GLAUBER, G.; CARVALHO, C.; SÉRGIO, P.; VICTOR, F.; CARVALHO DE ARAÚJO, L. F.; GRÁFICO, P.; BENICIO, A. Expediente Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento-CICEF. v. 1, v. 1, p. 1 – 30, 2025. Disponível em: <<http://www.centrocelsofurtado.org.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2026.

CHAPMAN, C. A.; PERES, C. A. Denial and Misconceptions about Tropical Deforestation. **BioScience**, v. 1, v. 1, p. 1 – 22, 2026. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaf210>.

CRUZ, A. L. de C.; LAPOLA, D. M.; CANOVA, M. A.; JACAÚNA, T. da S.; MENIN, J.; MONTEIRO, M.; SERBIN, G. M.; PADGURSCHI, M. C. G. Ecosystem services and food security: Local perception aligning with demands in the state of Amazonas, Brazil. **Ecosystem Services**, v. 78, n. 2 p. 101807 - 101838, 2026.

CUI, J.; PIAO, S.; HUNTINGFORD, C.; WANG, T.; SPRACKLEN, D. V. Historical deforestation drives strong rainfall decline across the southern Amazon basin. **Nature Communications**, v. 1, v. 1, p. 1 – 28, 2026.

DESCALS, A.; JANSSENS, I. A.; PEÑUELAS, J. Amazon forest nutrient limitation is mitigated by distant fire emissions. **Nature Geoscience**, v. 1, n.2, p. 1–5, 2026.

DE ARRUDA SOUZA, C. OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; HACON, S.S. Serviços Ecossistêmicos da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n 10, p. 178–198, 2024a.

DE ARRUDA SOUZA, C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; HACON, S.S. Conceito de serviços ecossistêmicos: desdobramento na ciência e política. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n.6, p. 4260–4277, 2024b. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4260-4277>

10.5281/zenodo.22921475

DE ARRUDA SOUZA, C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; HACON, S.S. Mudança no Parâmetro Biofísico no Fornecedor dos Serviços Ecossistêmicos de Suporte: APP e RL No Norte Mato-Grossense. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.18, n. 2, p. 100–124, 2024c.

DE LIMA, C. A.; Alves, C. A.; E. N.; Hannibal, W.; Rocha, E. C. Effects of habitat fragmentation on species richness and community composition of medium-and large-sized mammals in sugarcane-dominated Cerrado landscapes, southwestern Goiás, Brazil. **Frontiers in Conservation Science**, v. 7, p. 1799392, 2026.

DA SILVA ARRUDA, V.L.; ALENCAR, A.A.C.; DE CARVALHO JÚNIOR, O.A.; DE FIGUEIREDO RIBEIRO, F.; DE ARRUDA, F.V.; CONCIANI, D.E.; DA SILVA, W.V.; SHIMBO, J.Z. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). **Fire Ecology**, v. 20, n 1, p. 64–79, 2024. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00298-4>.

DOS SANTOS, Rafael Ferreira; DA SILVA, William Madureira. FLORA ANGIOSPÉRMICA DO CERRADO: UM PANORAMA DA RIQUEZA DE ESPÉCIES. **Acta Biologica Brasiliensia**, v. 8, n. 1, p. 269-284, 2025.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). Sentinel 2 2025. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> Acesso em: 03 mar. 2025.

FERNANDES, H. G. P.; RODRIGUES, T. C. S.; NOGUEIRA, F. de L. dos S.; MELO, M. H. F. De; DALAGNOL, R.; FREIRE, A. T. G.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; FERNANDES, H. G. P.; RODRIGUES, T. C. S.; NOGUEIRA, F. de L. dos S.; MELO, M. H. F. De; DALAGNOL, R.; FREIRE, A. T. G.; SILVA-JUNIOR, C. H. L. Land Use and Land Cover Dynamics and Their Association with Fire in Indigenous Territories of Maranhão, Brazil (1985–2023). **Land**, v. 15, n. 1, p. 132 - 148, 2026.

FORKEL, M.; WESSOLLEK, C.; HUIJNEN, V.; ANDELA, N.; DE LAAT, A.; KINALCZYK, D.; MARRS, C.; VAN WEES, D.; BASTOS, A.; CIAIS, P.; FAWCETT, D.; KAISER, J. W.; KLAUBERG, C.; KUTCHARTI, E.; LEITE, R.; LI, W.; SILVA, C.; SITCH, S.; GONCALVES DE SOUZA, J.; Zaehle, S.; Plummer, S. Burning of woody debris dominates fire emissions in the Amazon and Cerrado. **Nature Geoscience**, v. 18, n.1, p. 140–147, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01637-5>.

FLORES GARNICA, J. G.; OROZCO GUTIERREZ, G.; RAMÍREZ OJEDA, G. Determinación de áreas de protección prioritaria basada en la densidad Kernel de incendios forestales. **Revista mexicana de ciencias forestales**, v. 16, n. 90, p. 33-60, 2025. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1523>

FUENZALIDA, R.; MUÑOZ, A.; GONZÁLEZ, M. Determinación de áreas prioritarias para la prevención de incendios forestales mediante densidad de Kernel. **Revista Geográfica del Sur**, v. 45 n.2, p.55–68, 2013.

GUEDES, G. H. S.; ARAÚJO, F. G. Water and fire: Wildfires threaten fish habitats across Brazilian biomes, and protected areas offer insufficient safeguards. **Biological Conservation**, v. 315, p. 111692 – 111710, 2026.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 85-90, 2003.

HOFMANN, G.S.; CARDOSO, M.F.; ALVES, R.J.V.; WEBER, E.J.; BARBOSA, A.A.; DE TOLEDO, P.M.; PONTUAL, F.B.; DE SALLES, L.; HASENACK, O. H.; CORDEIRO J.L.P.; AQUINO F.E.; DE OLIVEIRA, LFB. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. **Global Change Biology**, v. 27 n.17, p.4060–4073, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.15712>.

HULME, P. E.; LIEURANCE, D.; RICHARDSON, D. M.; ROBINSON, T. B. Multiple targets of the Global Biodiversity Framework must be addressed to manage invasive alien species in protected areas. **NeoBiota**, v. 99, n.3, p. 149–170, 2025.

HSU, A.; JONES, M.W.; THURGOOD, J.R.; SMITH, ADAM J. P.; CARMENTA, R.; ABATZOGLOU, J.T.; ANDERSON, L.O.; CLARKE, H.; DOERR, S. H.; FERNANDES, P. M.; KOLDEN, C. A.; SANTÍN, C.; STRYDOM, T.; LE QUÉRÉ, C.; ASCOLI, D.; CASTELLNOU, M.; GOLDAMMER, J.G.; GUIOMAR, N. R. G. N.; KUKAVSKAYA, E. A.;RIGOLOT, E.; TANPIPAT, V.; VARNER, M.; YAMASHITA, Y.; BAARD, J.; BARRETO, R.; BECERRA, J.; BRUNN, E.; BERGIUS, N.; CARLSSON, J.; CHENEY, C.; DRUCE, D.; ELLIOT, A.; EVANS, J.; DE MORAES FALLEIRO, R.; PRAT-GUITART, N.; HIRS, J. K.; KAISER, J. W.; MACHER, L.; MORRIS, D.; PARK, J.; ROBLES, C.; ROMÁN-CUESTA, R. M.; RÜCKER, G.; SENRA, F.; STEIL, L.;

 10.5281/zenodo.22921475

VALVERDE, J. A. L.; ZERR, E. A global assemblage of regional prescribed burn records — GlobalRx. **Scientific Data**, v. 12, n. 1083, p. 2052-4463, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04941-w>.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Gestão Integrada de Incêndios (IFM) (2024). Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/ifm>. Acesso em: 07 de outubro de 2024

MA, J.; ZHANG, C.; LI, S.; YANG, C.; CHEN, C.; YUN, W. Changes in Vegetation Resistance and Resilience under Different Drought Disturbances Based on NDVI and SPEI Time Series Data in Jilin Province, China. **Remote Sensing**, v.15, n. 13, p. 3280 – 3298, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15133280>.

MASSI, K.; FIDELIS, A.; NASCIMENTO, N.; PIVELLO, V.; SANSEVERO, J.; REVERBERI-TAMBOSI, L. Have we learned our lesson from fires of 2024 in Brazil? **Biological Conservation**, v. 314, n.1. p. 111691- 111724, 2026.

MONTEIRO DOS SANTOS, D.; OLIVEIRA, A.M.; DUARTE, E.S.F.; RODRIGUES, J. A.; MENEZES, L. S.; ALBUQUERQUE, R.; ROQUE, F. O.; PERES, L. F.; HOELZEMANN, J. J.; IBONATI, R. Compound dry-hot-fire events connecting Central and Southeastern South America: an unapparent and deadly ripple effect. **npj Nat. Hazards**, v.1, n.32, p. 1 – 21, 2024. <https://doi.org/10.1038/s44304-024-00031-w>

NEGER, C.; PONCE-CALDERÓN, L. P.; MANZO-DELGADO, L. L.; LÓPEZ-MADRID, M. A. Integrated fire management in a tropical biosphere reserve: Achievements and challenges. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 106, p. 104447, 2024. [10.1016/j.ijdrr.2024.104447](https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104447).

Orçamento Global de Carbono. 2024. Disponível em: <<https://globalcarbonbudget.org/fossil-fuel-co2-emissions-increase-again-in-2024/>>. Acesso em: 1 fev. 2026.

ORTEGA-ARGUETA, A. Theoretical and Methodological Frameworks for the Study of the Policy Dimension of Threatened Species Management. **The Policy Dimensions of Threatened Species Management**, *Cham*, v.1, n. 1, p. 15–41, 2026.

PEREIRA, C. C., KENEDY-SIQUEIRA, W., MAIA, L. R., DA FONTOURA SPERANDEI, V., Arantes-Garcia, L., Fernandes, S., ... & Fearnside, P. M. The Cerrado crisis review: highlighting threats and providing future pathways to save Brazil's biodiversity hotspot. **Nature Conservation**, v. 61, p. 29-70, 2026.

POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Avaliação da degradação da qualidade da água do reservatório Carlos Botelho em Itirapina, São Paulo, Brasil, por meio de imagens do satélite Sentinel 2. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 279-290, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210002>.

Plano de Manejo Parque Nacional Chapada dos Guimarães, Ministério do Meio Ambiente. Ministério Do Meio Ambiente - MMA, Chapada dos Guimarães (2009). Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/ifm>. Acesso em: 07 de outubro de 2024.

SANTOS, Leovigildo Aparecido Costa; DE MELO SILVA-NETO, Carlos; TREVISAN, Adriana Carla Dias. Traços Funcionais de Plantas Nativas do Bioma Cerrado: Uma Revisão Sistemática. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 13, n. 2, p. 50-69, 2024.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. Routledge, 1998. ed.1. New York. <https://doi.org/10.1201/9781315140919>.

SEGURA-GARCIA, C.; BAUMAN, D., S.; ARRUDA, V.L.; ALENCAR, A. A. C.; MENOR, I. O. Human land occupation regulates the effect of the climate on the burned area of the Brazilian Cerrado. **Commun Earth Environ**, v. 5, n. 361, p. 2662-4435, 2024. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01521-5>

SERRÃO, E.A.O.; CAVALCANTE, R.B.L.; ZANIN, P.R.; TEDESCHI, R. G.; FERREIRA, T. R.; PONTES, P. R. M. The effects of teleconnections on water and carbon fluxes in the two South America's largest biomes. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1395, p. 2045-2322, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85272-z>.

SOBREIRA, E.; LÁZARO, W. L.; VITORINO, B. D.; FROTA, A. V. B.; YOUNG, C. E. F.; CAMPOS, D. V. S., VIANA, C. R. S.; OLIVEIRA, E.; LÓPEZ-RAMIREZ, L. L.; SOUZA, A. R.; SILVA, D. J.; IGNOTTI, E.; HACON, S.; IGNÁCIO, Á. R. A.; M UNIZ, C. C.; FILHO, M. S.; BOGONI, J. A. Wildfires and their toll on

Brazil: Who's counting the cost? Perspectives in Ecology and Conservation, v.23, n.3, p. 214-217, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2025.06.003>.

SILVA, M. S.; JARDIM, L.; TERRIBILE, L. C. Geodiversity conservation in the Cerrado: Representation of geophysical scenarios in the biome's protected areas network. **Biological Conservation**, v. 312, n 10, p. 111464–111480, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111464>.

SILVA, P.S.; LIBONATI, R.; GONÇALVES, L.G.; DACAMARA, C. C. The climatic patterns that control regional fire activity in the Brazilian savana. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 374, n.110792, p. 1-25, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110792>.

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C; FERREIRA, M. C.; ELOY, L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094–2101, 2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118>.

SCHNEIDER, M.; BIEDZICKI DE MARQUES, A.A.; PERES, C.A. Brazil's Next Deforestation Frontiers. **Trop Conserv Sci**, v.14, n.1, p.19400 - 19425, 2021. <https://doi.org/10.1177/19400829211020472>.

SPADONI, G. L.; MORIS, J. V. SEGURA-GARCIA, C.; PESSOA, A. C.; JONES, M. W.; MACHADO, M. S.; MOTTA, R.; ALENCAR, A. A. C.; ASCOLI, D.; MENOR, I. O. Devegetation is a widespread driver of fire in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 385, n 1, p. 125637–125650, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125637>.

TOMAS, W.M.; BAGGIO, R.; BERLINCK, C.N.; CAMILO, A.R.; CUNHA, C.N. da; DAMASCENO-JUNIOR, G.; DURIGAN, G.; DUTRA-SILVA, R.; FIDELIS, A.; GARCIA, L.C.; HERRERA, H.M.; LIBONATI, R.; MARENGO, J.A.; OLIVEIRA, M. da R.; OVERBECK, G.E.; PEREIRA, A. de M.M.; PILLAR, V.D.P.; PIVELLO, V.R.; RIBEIRO, D.B.; RIBEIRO, J.F.; SAMPAIO, A.B.; SANTOS JUNIOR, A. dos; SCHMIDT, I.B.; SORIANO, B.M.A.; TIEPOLO, L.M.; TIMO, T.P. de C. e; URBANETZ, C.; VIEIRA, D.L.M.; WALTER, B.M.T. Challenges in the conservation and management of legal reserve areas in Brazilian grassland and savanna ecosystems in the face of global climate change. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.59, n. 03491, p. 1 - 34 2024. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03491>.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic geography**, v. 46, n. 1, p. 234-240, 1970.

TURLACH, Berwin A. Bandwidth selection in kernel density estimation: a review. Humboldt Universitaet Berlin, 1993.

KIM, HJ., KIM, JS., HAM, YG. Park, Jae-Heung.; Milodowski, David.; Aragão, Luiz E. O. C.; Williams, Mathew. Anomalous temperature in North Tropical Atlantic linked to Brazilian Cerrado fires. **Climate and Atmospheric Science**, v. 63, n. 8, p. 2397-3722, 2025.<https://doi.org/10.1038/s41612-025-00945-w>.

WANTZEN, K. M.; NUNES DA CUNHA, C.; SIQUEIRA, A. J. B. Cerrado stream valleys and their vegetation: structure, impacts by erosion and recuperation strategies. the Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a Large Neotropical Seasonal Wetland, p. 143-165, 2011.

ZSIGMOND, T.; BAKACSI, Z.; HOREL, Á. Refining grapevine vegetation status by utilizing grassland and remote sensing data. Scientific Reports, v. 15, n. 1, p. 31586, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16967-6>.

XU, Y.; CIAIS, P.; SANTORO, M.; BOURGOIN, C.; RITTER, F.; PELLISSIER-TANON, A.; FENG, Y.; ZHOU, C.; HE, G.; HEINRICH, V.; BESNARD, S.; ROBINSON, N.; COOK-PATTON, S. C.; CHAVE, J.; ARAGAO, L. E. O. C.; OMETTO, J. P.; BOWRING, S. P. K.; FAYAD, I.; ZHU, L.; SU, Y.; WIGNERON, J. P.; LI, W. Small persistent humid forest clearings drive tropical forest biomass losses. **Nature**, v. 649, n. 8096, p. 375–380, 2026.