

# GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À DINÂMICA DAS QUEIMADAS NA BACIA DO RIO FARINHA, CERRADO MARANHENSE, BRASIL

**GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO BURNED DYNAMICS IN THE FARINHA RIVER BASIN,  
MARANHENSE CERRADO, BRAZIL**

**GEOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA DINÁMICA DE LOS INCENDIOS EN LA CUENCA DEL RÍO  
FARINHA, CERRADO MARANHENSE, BRASIL**

**Bárbara Vieira dos Santos**

Universidade Estadual de Goiás (UEG)

barbara.vsxviii@gmail.com

**Eduarda Vaz Braga**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

eduardavazbraga@gmail.com

**Paulo Henrique Alves Leão**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

henri.leaos@gmail.com

**Josué Carvalho Viegas**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

josueviegasgeo@hotmail.com

**Taíssa Caroline Silva Rodrigues**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

taissa.rodrigues@uemasul.edu.br

## RESUMO

As queimadas representam uma grave ameaça ambiental e social em escala global. No Maranhão, especialmente no bioma Cerrado, a ocorrência de queimadas tem acelerado nos últimos anos e isso ocorre tanto por fatores naturais quanto por fatores antrópicos. O presente estudo tem como objetivo analisar a ocorrência e a recorrência das áreas queimadas ao longo de 37 anos na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha. A matriz teórica baseia-se na análise da dinâmica ambiental associada ao uso do solo e à propagação do fogo. A metodologia empregou o sensoriamento remoto, por meio dos softwares QGIS, Google Earth Engine e Google Colab. Os dados foram obtidos em plataformas como IBGE e MapBiomass e, posteriormente, analisados estatisticamente. Os resultados revelaram alta ocorrência de queimadas, especialmente próximas ao leito do rio e à BR-230, com destaque para o período entre 2007 e 2017, quando 1.909,19 km<sup>2</sup> foram queimados. A maioria das áreas apresentou recorrência de 1 a 5 vezes (46,10%), enquanto queimadas de 12 a 23 vezes foram raras (0,11%). Depois da vegetação nativa, a classe mais afetada foi a pastagem, identificada como um dos principais fatores associados à recorrência. Conclui-se que parte significativa das queimadas na bacia está associada a ações antrópicas, sendo essencial o monitoramento contínuo e políticas públicas voltadas à prevenção e ao controle do fogo em áreas ambientalmente sensíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** fogo; sistema de informação geográfica; análise temporal; mapeamento.

## ABSTRACT

The burnt pose a severe global environmental and social threat. In Maranhão, especially in the Cerrado biome, the occurrence of fires has accelerated in recent years and this is due to both natural and anthropogenic factors. This study aims to analyze the occurrence and recurrence of burned areas over 37 years in the Farinha River Basin. The theoretical matrix is based on the analysis of environmental dynamics associated with land use and the spread of fire. The methodology used remote sensing, using QGIS, Google Earth Engine and Google Colab software. The data was obtained from platforms such as IBGE and MapBiomass and then statistically analyzed. The results revealed a high occurrence of

fires, especially close to the riverbed and the BR-230 highway, especially between 2007 and 2017, when 1,909.19 km<sup>2</sup> were burned. Most areas recurred between 1 and 5 times (46.10%), while burnings between 12 and 23 times were rare (0.11%). After native vegetation, the class most affected was pasture, identified as one of the main factors associated with recurrence. It is concluded that a significant part of the fires in the basin are associated with anthropogenic actions, and that continuous monitoring and public policies aimed at preventing and controlling fire in environmentally sensitive areas are essential.

**KEYWORDS:** fire; geographic information system; temporal analysis; mapping.

## RESUMEN

Las quemas representan una grave amenaza ambiental y social a escala global. En Maranhão, especialmente en el bioma del Cerrado, la ocurrencia de incendios ha aumentado en los últimos años y esto se debe tanto a factores naturales como antropogénicos. Este estudio tiene por objeto analizar la ocurrencia y recurrencia de áreas quemadas a lo largo de 37 años en la cuenca del río Farinha. La matriz teórica se basa en el análisis de la dinámica ambiental asociada al uso del suelo y a la propagación del fuego. La metodología empleada usó la teledetección y los programas QGIS, Google Earth Engine y Google Colab para el análisis de datos geográficos. Los datos se obtuvieron de plataformas como IBGE y MapBiomas y luego se analizaron estadísticamente. Los resultados revelaron una alta ocurrencia de incendios, especialmente cerca del cauce del río y de la autopista BR-230, destacando el período entre 2007 y 2017 donde se quemaron 1.909,19 km<sup>2</sup>. La mayoría de las áreas se quemaron entre 1 y 5 veces (46,10%), mientras que las quemas entre 12 y 23 veces fueron mínimas (0,11%). Después de la vegetación nativa, la clase más afectada fueron los pastos, identificados como uno de los principales factores asociados a la recurrencia de incendios. Se concluye que una parte significativa de los incendios en la cuenca está asociada a acciones antropogénicas, siendo esencial una vigilancia continua y políticas públicas destinadas a prevenir y controlar los incendios en zonas sensibles desde el punto de vista medioambiental.

**PALABRAS CLAVE:** fuego; sistema de información geográfica; análisis temporal; mapeo.

## 1. INTRODUÇÃO

As queimadas são um problema em escala mundial, que têm como resultado consequências devastadoras, tanto para a biodiversidade quanto para a sociedade (Coelho *et al.*, 2023). Dados divulgados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), indicam que o estado do Maranhão tem enfrentado um aumento expressivo no número de queimadas ilegais nos últimos anos, especialmente nas áreas de transição entre o Cerrado e a Amazônia. Os incêndios ocorridos durante a estação seca média correspondem a 86,21% da área total queimada e a 32,05% das ocorrências registradas (Alves; Pérez-Cabello, 2017).

O INPE utiliza o termo foco de calor para designar pontos detectados por sensores orbitais que apresentam alta temperatura, indicando a possível ocorrência de fogo, seja proveniente de queimadas controladas ou de incêndios florestais. A queimada, nesse contexto, corresponde à queima planejada e controlada da vegetação, enquanto o incêndio florestal é caracterizado pela propagação não planejada e fora de controle (INPE, 2024).

Conforme publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o território maranhense abrange parcela dos dois maiores biomas do Brasil, a Amazônia (36%) e o Cerrado (64%). Devido às características ecológicas desses biomas, em especial do cerrado, as queimadas

podem ocorrer tanto por processos naturais quanto por causas antrópicas. A longo prazo, podem ser altamente prejudiciais à terra, contribuindo para processos de degradação do solo, como desertificação e perda da biodiversidade (Abreu *et al.*, 2017; Resende, 2017; Silva Junior *et al.*, 2015).

Desse modo, é notório que a interação das atividades humanas, clima e vegetação aponta os padrões temporais e espaciais para a ocorrência de incêndios, evidenciando a importância de caracterizar os padrões espaciais de queimadas e compreender sua correspondência com o clima e condição da vegetação, visando entender a dinâmica das áreas afetadas por incêndios, em especial aquelas que sofrem graves alterações no uso e cobertura da terra, como o bioma Cerrado (Mataveli *et al.*, 2018).

Sendo assim, as mudanças nos padrões de uso e cobertura da terra são elementos principais para o conhecimento de um espaço geográfico (Xaud; Epiphanio, 2014). Associadas a diversos fatores que abrangem aspectos culturais, demográficos e econômicos, as mudanças de uso e cobertura da terra envolvem práticas como pastagem, culturas agrícolas, recreação, proteção e reflorestamento (Oliveira; Waquil, 2011). Tais dados contribuem com a complementação de planejamento ambiental, visando minimizar os impactos causados pelas atividades antrópicas em ambientes vulneráveis (Mattos *et al.*, 2017).

Considerando que as regulamentações governamentais restringem severamente o uso do fogo e que sua supressão é praticada ativamente na maioria das reservas e parques, é possível afirmar que há uma percepção generalizada de que o fogo representa uma ameaça à biodiversidade (Durigan; Ratter, 2016). Contudo, esse risco pode ser intensificado pela rápida expansão de culturas, pastagens e plantações florestais, resultando em paisagens fragmentadas, isto é, a perda da biodiversidade (Beuchle *et al.*, 2015; Strassburg *et al.*, 2017).

Nesse sentido, as unidades de conservação exercem papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos, incluindo a regulação hídrica, a proteção da biodiversidade e a mitigação de impactos antrópicos (Souza; Richter; Costa, 2018). Tais estratégias são particularmente relevantes para a conservação de bacias hidrográficas, como é o caso da Bacia do Rio Farinha, que abriga parte do Parque Nacional da Chapada das Mesas, uma unidade de conservação de extrema relevância ecológica (Assis; Faria; Bayer, 2022).

A dinâmica do fogo nessa região ainda é pouco compreendida, sobretudo em relação à sua recorrência, propagação e impactos sobre a vegetação nativa e os recursos hídricos. Além da

escassez de ações fiscalizatórias efetivas, a bacia enfrenta uma série de pressões combinadas: avanço da fronteira agrícola, desmatamento, fragmentação da paisagem, conflitos de uso da terra e vulnerabilidade climática (Silva; Pereira Filho, 2025). Esses fatores, atuando de forma sinérgica, intensificam a ocorrência de queimadas e dificultam o controle do fogo, inclusive, em áreas protegidas (Fonseca *et al.* 2019).

À vista disso, a implementação do uso de geotecnologias, especificamente do sensoriamento remoto orbital, constitui uma técnica rápida e eficiente para a detecção e monitoramento de queimadas. Esse recurso possibilita identificar quando as queimadas se iniciam e como se propagam, o que facilita a adoção de medidas cabíveis para seu controle, evitando danos ambientais e econômicos significativos (Pletsch *et al.*, 2022).

A Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, com uma dimensão de aproximadamente 5.255,79 km<sup>2</sup> e, afluente da margem esquerda do rio Tocantins, possui grande importância para a região central do país (Nobre *et al.*, 2020). Abriga duas importantes cachoeiras da região, — Prata e São Romão — , além de apresentar uma grande diversidade de nascentes (Nobre *et al.*, 2020). A bacia também incorpora parte de uma Unidade de Conservação (UC), o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), área voltada à preservação da biodiversidade (Marques, 2012).

Com base no que foi dito anteriormente, o presente estudo tem como objetivo analisar a ocorrência e a recorrência das áreas queimadas ao longo de 37 anos na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, localizada no Cerrado Maranhense. Considera-se, nesse contexto, relação entre as queimadas e as mudanças no uso e cobertura da terra, buscando identificar os padrões espaciais e temporais das queimadas, bem como suas principais causas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Área de Estudo

O estado do Maranhão é um dos 27 estados do Brasil, localizado a oeste da Região Nordeste. Abrange uma área de 329.651,5 km<sup>2</sup> e possui uma população atual de aproximadamente 6.776.699 habitantes (IBGE, 2022). Nele, se localiza a Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, que possui uma extensão de drenagem de 5.255,79 km<sup>2</sup> e perímetro de 398,43 km.

Conforme observado na Figura 1, situa-se no sudoeste do estado, abrangendo parte dos municípios de Carolina, Estreito, São Pedro dos Crentes, Feira Nova do Maranhão e Riachão (Nobre

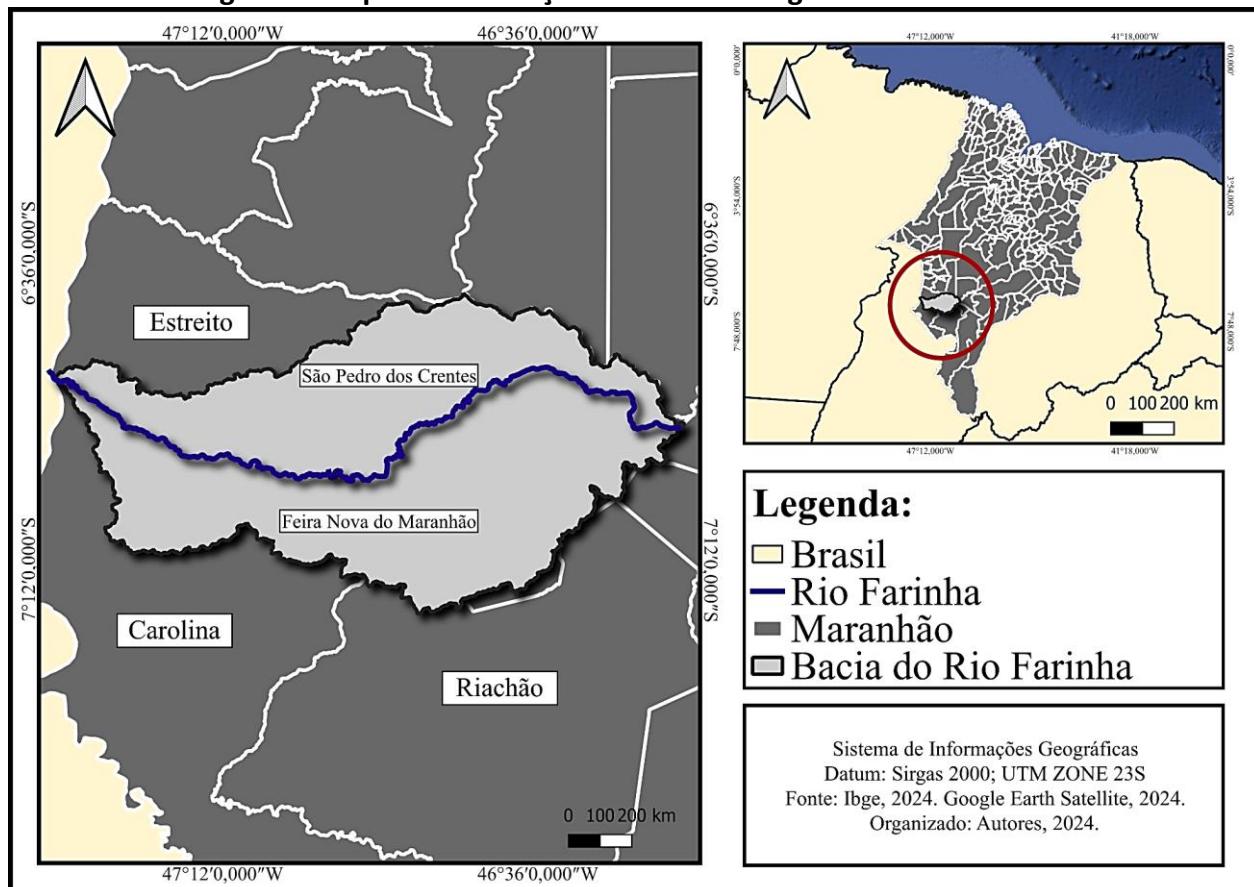
*et al.*, 2020). A Região é caracterizada pela predominância do bioma Cerrado, com cobertura vegetal típica e presença de mata ciliar densa ao longo das margens do rio (MMA, 2016).

Segundo a classificação climática de *Koppen*, o clima predominante na região é o Aw – Clima Tropical com estação seca de inverno, ou seja, inverno seco de maio a outubro e chuvas máximas no verão, entre novembro e abril. Julho, agosto e setembro são os mais secos, com uma média anual de precipitação de 1.500 mm. A temperatura média anual é de 26,1 °C, com mínima de 25,2 °C em janeiro e máxima de 36 °C, em julho e agosto (WeatherSpark, 2025).

A declividade média da bacia é de 4°, com a máxima de 62° e a mínima 0°, na qual a maior parte se localiza em áreas de baixa declividade. A altitude média é de 346 m, sendo a máxima de 641 m e a mínima 140 m, o que resulta em amplitude altimétrica de 501 metros (Nobre *et al.*, 2020).

Quanto à vegetação presente na região, ocorrem as estratificações associadas ao bioma Cerrado, como Cerrado Denso, Cerrado Aberto, Cerrado Rupestre e Mata de Galeria (Carvalho *et al.*, 2019).

**Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Farinha**



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

## 2.2 Produto de Queimada, Recorrência e de Uso de Cobertura

Optou-se pela utilização dos produtos de fogo e uso e cobertura amplamente reconhecidos e referenciados na literatura científica (Quadro 1). A investigação considerou um período específico, representado pelos anos de 1985 - 2022 para o fogo e 1985 - 2023 para uso e cobertura.

**Quadro 1: Produtos de Queimadas, Recorrência do Fogo e Uso e Cobertura da Terra**

Nome	Desenvolvedor	Escala	Sensores/Entradas	Resolução
Mapbiomas Fire Collection 2	MAPBIOMAS	GLOBAL	1985 - 2022	30 M
MapBiomas Uso e Cobertura	MAPBIOMAS	GLOBAL	1985 - 2023	30 M

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O *MapBiomas Uso e Cobertura* gera mapas anuais de uso e cobertura da terra por meio de um método de classificação detalhada por pixel, utilizando imagens do *Landsat* com resolução espacial de 30 metros.

## 2.3 Coleta e Processamento de Dados de Fogo

Os dados utilizados no estudo foram provenientes do *MapBiomas Fire Coleção 2*, já estruturados como mapas anuais de áreas queimadas, eliminando a necessidade de manipulações adicionais. Todo o processamento foi conduzido na plataforma *Google Earth Engine* (GEE) com a integração da *API Python*.

Para a análise, os dados de áreas queimadas foram convertidos em uma classificação binária: o valor 1 indica áreas queimadas, enquanto 0 representa as áreas não afetadas pelo fogo. Esses mapas binários serviram como base para o cálculo de métricas relacionadas às queimadas, como o ano inicial e final das ocorrências, além da frequência com que cada local foi afetado ao longo da série histórica (Braga *et al.*, 2024b; Leão *et al.*, 2023).

Para o processamento das imagens e a geração dos mapas, foi utilizado o software QGIS 3.28. Os arquivos de delimitação da bacia hidrográfica foram adquiridos no site do IBGE (2024).

## 2.4 Coleta e Processamento de Dados de Uso e Cobertura da Terra

Os dados utilizados no estudo foram obtidos do MapBiomas, apresentados como mapas anuais já classificados e validados, o que elimina a necessidade de processamentos ou classificações

adicionais. O MapBiomas utiliza legendas próprias, consistentes e validadas, garantindo a padronização das informações. No ambiente de Sistema de Informação Geográfica (QGIS), foram realizadas apenas a organização dos dados e o recorte espacial para a área de estudo.

Na Bacia do Rio Farinha, foram identificadas treze classes de uso e cobertura da terra, a saber: Afloramento Rochoso, Área Urbana, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Mosaico de Usos, Outras Áreas Não Vegetadas, Outras Lavouras Temporárias, Pastagem, Rio, Lago, Oceano, Silvicultura e Soja.

Com o objetivo de analisar a relação entre o uso e cobertura da terra e a ocorrência de queimadas ao longo do tempo, foram definidas métricas específicas, tais como: frequência de queimadas por pixel, ano da primeira e da última ocorrência de fogo, tempo decorrido desde a última queimada e proporção anual da área queimada em relação à área total da paisagem.

Adicionalmente, realizou-se a sobreposição entre os mapas anuais de uso e cobertura da terra e os dados de fogo disponibilizados pelo *MapBiomas* (Braga *et al.*, 2024b; Leão; Silva-Junior; Anderson, 2023), o que permitiu identificar padrões espaço-temporais e suas implicações sobre a dinâmica da paisagem.

## 2.5 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com o uso das ferramentas *Microsoft Excel* e *Google Colab*, que possibilitaram a organização, tratamento e interpretação dos dados. Foram elaboradas tabelas descritivas e gráficos para visualizar a proporção de áreas queimadas ao longo dos anos, além da frequência de recorrência das queimadas em diferentes regiões da bacia.

Logo, a análise das taxas de variação das áreas queimadas foi conduzida no *Microsoft Excel*. Nesse ambiente, aplicou-se a fórmula para o cálculo da taxa de variação em relação ao ano-base, permitindo identificar o comportamento das queimadas ao longo do tempo. Para isso, utilizou-se a área queimada de 1985 como valor inicial fixo e, como valor final, cada ano subsequente do período (Braga *et al.*, 2024b).

$$TF = \frac{(Vf - Vi)}{Vi}$$

Onde:

TF: taxa de variação ano a ano ( $\text{Km}^2$ );

Vf: valor final da variável no período considerado ( $\text{Km}^2$ );

Vi: valor inicial da variável no período considerado ( $\text{Km}^2$ ).

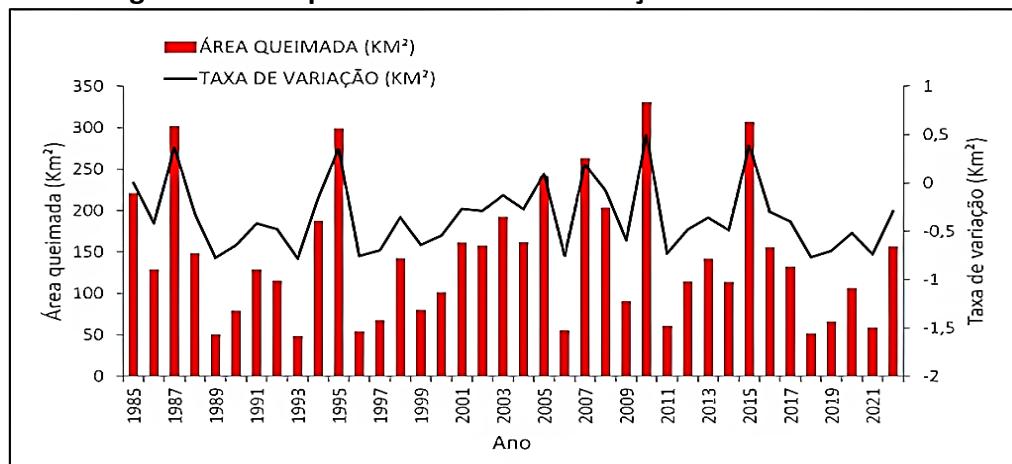
A análise da tendência temporal da área queimada foi realizada na plataforma *Google Colab*, utilizando a linguagem de programação *Python*. Os dados anuais de área queimada foram organizados em vetores (*arrays*) e, aplicou-se a regressão local não paramétrica pelo método LOESS (*Locally Estimated Scatterplot Smoothing*), que suaviza as flutuações interanuais e evidencia a tendência geral ao longo do período. Conforme Pilgrim (2021), essa técnica é muito útil para dados que não são lineares em toda a faixa de valores, permitindo distintas retas para cada segmento.

Além disso, elaborou-se uma matriz de correlação de Pearson envolvendo, o uso da terra, a área queimada e o fator temporal (ano). Essa análise estatística possibilitou a identificação de relações significativas entre os fatores analisados, destacando-se a correlação positiva entre precipitação e área queimada, bem como a correlação negativa entre temperatura e área queimada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição da área queimada por ano, juntamente com a taxa de variação percentual entre os anos. Observa-se que, embora existam picos notáveis em anos como 1987, 1995, 2007, 2010 e 2015, a tendência geral da série apresenta variações, alternando anos de forte aumento seguidos por quedas acentuadas.

**Figura 2: Área queimada e taxa de variação entre 1985 e 2022**

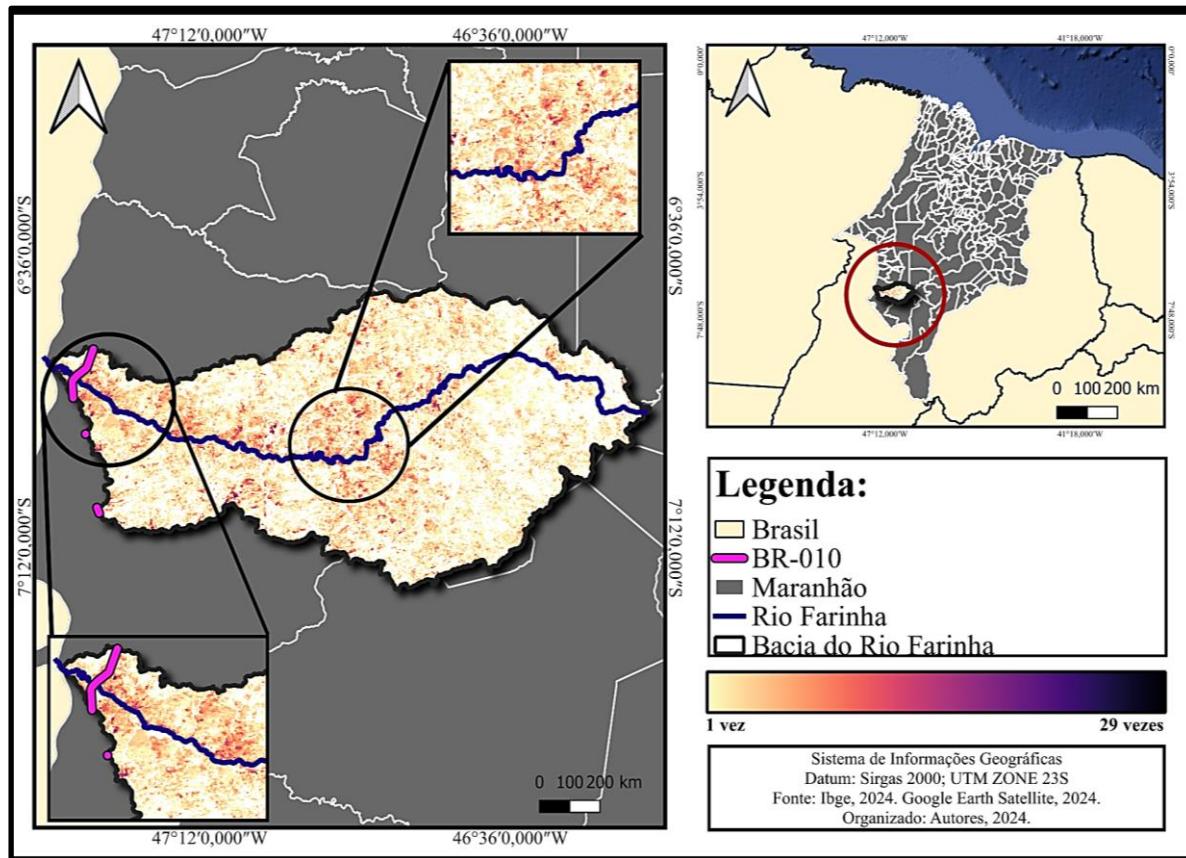


Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A linha de taxa de variação destaca essas oscilações ao longo dos anos, revelando a instabilidade na dinâmica das queimadas, o que pode estar relacionado a fatores climáticos, práticas antrópicas e ausência de políticas de controle em determinados períodos (Santos *et al.*, 2024).

A Figura 3 evidencia que a ocorrência de queimadas é comum em toda a área de estudo. Com o decorrer dos anos, observa-se uma intensificação da recorrência dessas queimadas, especialmente nas proximidades do corpo hídrico do rio Farinha e da BR-230, também conhecida como rodovia Transamazônica.

**Figura 3: Mapa de recorrência de queimadas na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha**



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

Durante o período de 2007 a 2017, observou-se a maior concentração de eventos de queimadas na região, com um total de 1.909,19 km<sup>2</sup>, o que representa 37% da área total queimada acumulada ao longo da série histórica (Tabela 1). Esse dado sugere um aumento expressivo na intensidade e frequência das queimadas nessa década.

No entanto, é importante destacar que o somatório da área queimada ao longo de todo o período (1985 a 2022) totaliza 5.464,02 km<sup>2</sup>, equivalente a 105% da área total da região de estudo; esse valor superior a 100% não indica que a área foi totalmente consumida pelo fogo, mas reflete a sobreposição de áreas queimadas em diferentes anos, ou seja, regiões afetadas mais de uma vez ao longo do período. Ajustando para considerar apenas a superfície única efetivamente queimada (sem

sobreposição), o valor corresponde a 100% da área da bacia, evidenciando a alta reincidência do fogo na paisagem analisada.

**Tabela 1: Proporção de áreas queimadas dos anos de 1985 a 2022**

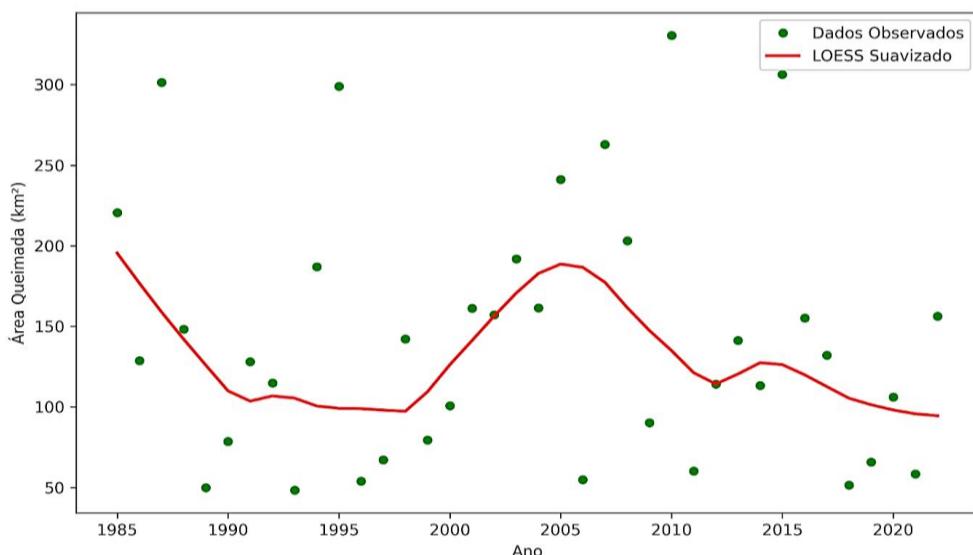
Ano	Área Queimada (km <sup>2</sup> )	%	% (sem sobreposição)
1985 a 1995	1705,03	33%	32,8%
1996 a 2006	1411,68	27%	27,1%
2007 a 2017	1909,19	37%	36,7%
2018 a 2022	438,12	8%	8,4%
Total	5.464,02 km <sup>2</sup>	105%	100%

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

Os aspectos edafoclimáticos do ambiente podem ter sido fatores agravantes para esse aumento considerável, visto que entre os anos de 2007 e 2017 houve longos períodos de estiagem influenciados pelo *El Niño*. Especificamente no ano de 2010, devido a ocorrência do *El Niño*, houve uma crise hídrica ampliada pelas anomalias negativas de precipitação (Marengo *et al.*, 2018). Desse modo, esse fenômeno climático incide sobre determinadas regiões do mundo, sendo responsável por oscilações extremas no clima natural de uma região, como é o caso do cerrado (Cunha *et al.*, 2011; Sales; Neto, 2020).

Diferentemente dos outros anos, entre o período de 2018 e 2022 houve notável queda na ocorrência de queimadas, coincidindo com o momento durante e após a criação, em 2019, e aprovação, em 2020, do Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM). Trata-se de um documento estratégico que orienta a gestão e uso sustentável do parque, criado com o objetivo de assegurar a preservação e conservação dos recursos ambientais, assim como regular atividades turísticas e de uso público dentro da UC (ICMBio, 2019).

A Figura 4 apresenta a variação da área queimada ao longo do período de 1985 a 2022. Os pontos verdes representam os dados observados anualmente, enquanto a linha vermelha mostra a tendência suavizada.

**Figura 4: Tendência temporal da área queimada entre 1985 e 2022**

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os dados observados indicam grande variação interanual, com anos de picos elevados, como 1987, 2010 e 2015, e anos com baixa ocorrência de queimadas, como 1989, 1993 e 2018. Essa oscilação evidencia a influência de múltiplos fatores sobre a ocorrência de queimadas na região.

A linha suavizada permite identificar padrões mais amplos. Entre 1990 e 1995, as áreas queimadas oscilaram, mas sem uma tendência clara de aumento ou redução. Isso indica que não houve mudanças estruturais no uso do solo ou pressão econômica suficiente para provocar um aumento consistente nas áreas queimadas. A partir de 2000, observa-se um crescimento significativo, culminando em um pico por volta de 2005. Após esse período, a curva indica uma tendência de declínio na área queimada, com queda acentuada especialmente após 2010.

Esse comportamento observado na tendência pode ser atribuído a uma série de fatores. A implementação de políticas ambientais mais eficazes, como o Código Florestal sancionado em 2012 e a moratória da soja em 2006, ajudou a reduzir as queimadas. Além disso, o aumento da fiscalização, com o uso de tecnologias de monitoramento, desempenhou papel crucial no controle de queimadas ilegais (Carta *et al.*, 2023).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, esses efeitos também se manifestaram de forma significativa. A partir de 2018, foi observada uma redução consistente nas áreas queimadas, coincidindo com a implementação e aprovação do Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), que abrange parte da bacia e estabelece diretrizes para o uso sustentável e a conservação da vegetação nativa (ICMBio, 2019).

Além disso, ações como o Manejo Integrado do Fogo (MIF) e o reforço da fiscalização ambiental nas Zonas de Uso Moderado e de Infraestrutura, onde se concentra a maioria das ocorrências de queimadas, contribuíram diretamente para esse declínio. O uso do fogo passou a ser mais controlado, inclusive com queimas prescritas como forma de prevenção (Carvalho, 2019; ICMBio, 2019), o que reforça a importância da gestão local aliada às políticas nacionais na mitigação dos incêndios florestais.

As mudanças climáticas, com períodos de maior precipitação, também ajudaram a diminuir a vulnerabilidade da vegetação ao fogo, especialmente durante os episódios de *La Niña* que trouxeram chuvas acima da média ao Norte e Nordeste do Brasil entre 2020 e 2022 (INMET, 2022). Por fim, o avanço de práticas agrícolas sustentáveis e o uso de tecnologias mais limpas contribuíram para reduzir a necessidade de queimadas para expansão agrícola (Hurteau *et al.*, 2019).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, as alterações climáticas também exerceram influência direta na dinâmica do fogo. A região, caracterizada por clima tropical do tipo Aw segundo a classificação de Koppen (Kottek *et al.*, 2006), sofreu intensos períodos de estiagem nos anos associados ao *El Niño*, especialmente em 2010, o que agravou a seca e aumentou a inflamabilidade da vegetação (Marengo *et al.*, 2018).

Ao analisar a recorrência das áreas queimadas na Tabela 2, observa-se que a maior parte delas ocorreu de 1 a 5 vezes, incidindo sobre uma área de 2.397,44 km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 46,10% do total da área queimada. Já as queimadas com menor recorrência foram de 18 a 23 vezes, abrangendo apenas 0,34 km<sup>2</sup> da área e representando somente 0,01% do total.

**Tabela 2: Recorrência de áreas queimadas em km<sup>2</sup>**

Recorrência de Áreas Queimadas	Área em km <sup>2</sup>	Área em %
1 a 5 vezes	2397,44	46,09%
6 a 11 vezes	114,46	2,20%
12 a 17 vezes	5,21	0,10%
18 a 23 vezes	0,34	0,01%
Total	2.517,47 km <sup>2</sup>	48,40%

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

Dentre os resultados obtidos, destaca-se o ano de 2010 como o período de maior intensidade de queimadas na região analisada, com um total de 2.114 km<sup>2</sup> de área queimada. Embora esse valor tenha sido associado por outros estudos a eventos críticos ocorridos nos limites do Parque Nacional da Chapada das Mesas e sua zona de amortecimento (Aragão, 2018; Carvalho,

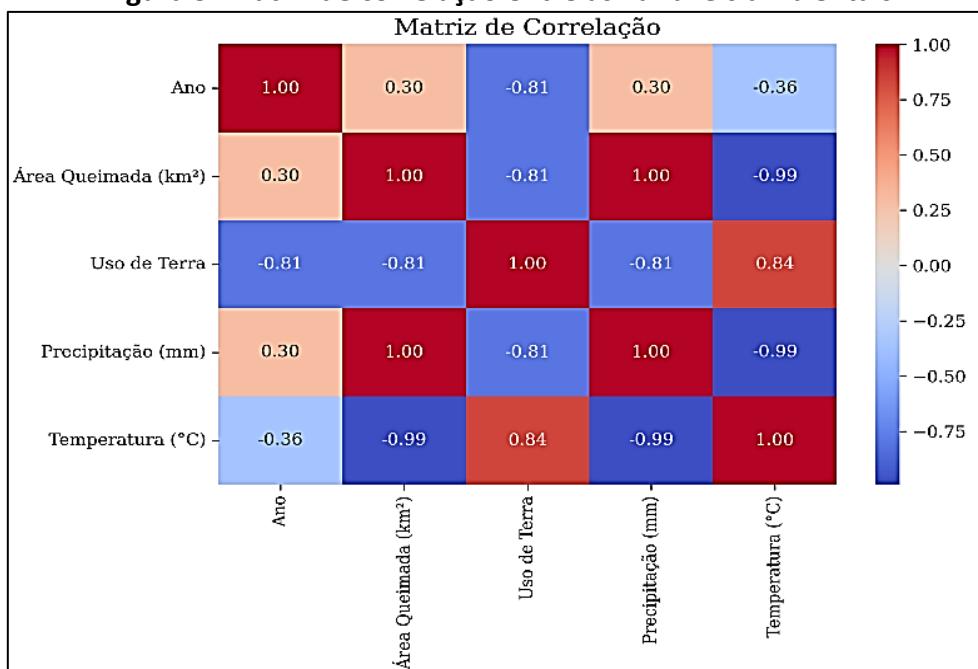
2019). Ressalta-se que a presente análise não considerou especificamente os limites da unidade de conservação. Ainda assim, o pico registrado acompanha a tendência observada em outros biomas brasileiros, que também enfrentaram queimadas intensas em unidades de conservação no mesmo período (Fidelis *et al.*, 2018).

Embora a Bacia Hidrográfica do Rio Farinha esteja situada em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, de acordo com o zoneamento do Parque divulgado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2021), ela está posicionada nas três zonas existentes: Zona de Infraestrutura, Zona de Uso Moderado e Zona de Conservação. Tal fator contribui significativamente para a ocorrência dessas queimadas, visto que a bacia em sua maior parte ocupa as Zonas de Infraestrutura e de Uso Moderado.

Com a leitura do mapa e tabela de recorrência, é possível observar que as áreas de maior repetição de queimadas na bacia são aquelas cortadas pela rodovia Transamazônica, a BR-230, que corrobora com os resultados do levantamento de dados da pesquisa de Carvalho (2019). Isso ocorre devido ao maior grau de antropização em locais próximos à rodovia, que afeta todo o ecossistema que se encontra próximo desta.

Nesse sentido, os dados de uso e cobertura da terra se tornam cruciais para compreender a dinâmica das queimadas. O estudo sobre o uso da terra da bacia hidrográfica do rio Farinha conduzido pelos autores Nobre *et al.* (2020), destacou que o principal uso da terra é a forma natural, ocupando 76,93% da área total. Em seguida, as pastagens ocupam 1.151,90 km<sup>2</sup> da área da bacia, o que corresponde a 21,92% do total. A silvicultura constitui 0,31% da bacia, ocupando 16,7 km<sup>2</sup>. Observado o mapa de uso e ocupação do solo e o de recorrência, foi identificado que as classes que mais queimaram foram pastagem, natural, silvicultura e agricultura anual, respectivamente.

A fim de aprofundar a compreensão sobre as interações entre as variáveis ambientais, foi elaborada uma matriz de correlação (Figura 5). Os coeficientes de correlação variam entre -1 e 1, indicando, respectivamente, uma correlação negativa perfeita e uma correlação positiva perfeita. Esse tipo de análise permite compreender a força e a direção das relações lineares entre os fatores observados ao longo da série temporal.

**Figura 5: Matriz de correlação entre as variáveis ambientais**

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

Em relação à área queimada, observou-se uma correlação positiva forte com a precipitação ( $r = 0,85$ ), sugerindo que, em anos com maior volume de chuvas, ocorre maior acúmulo de biomassa que, posteriormente, seca e serve como combustível para as queimadas (Mataveli *et al.*, 2017). Por outro lado, a temperatura apresentou correlação negativa muito forte com a área queimada ( $r = -0,92$ ), indicando que anos mais quentes podem ter menor disponibilidade de combustível vegetal, seja por menor crescimento de vegetação ou por mudanças no manejo do fogo, como a redução de queimadas agrícolas (Veiga *et al.*, 2024).

Identificou-se uma correlação positiva moderada entre uso da terra e área queimada ( $r = 0,41$ ), o que reforça o papel da ação antrópica, principalmente por meio de atividades agropecuárias que utilizam o fogo como prática de manejo (Schmidt; Eloy, 2020). Quanto ao fator temporal, o coeficiente de correlação entre o ano e a área queimada foi de -0,65, apontando para uma tendência de redução das queimadas ao longo do tempo. Esse dado está alinhado aos resultados apresentados anteriormente na Tabela 3 e nas Figuras 2 e 4.

Entre as demais relações, chama atenção a correlação negativa quase perfeita entre precipitação e temperatura ( $r = -0,98$ ), evidenciando que os anos mais quentes também foram os mais secos — um padrão climático típico de eventos extremos, possivelmente influenciados por fenômenos como *El Niño* e *La Niña* (Schmidt; Eloy, 2020). Além disso, verificou-se uma correlação negativa muito forte entre o uso da terra e o ano ( $r = -0,96$ ), sugerindo uma redução da atividade

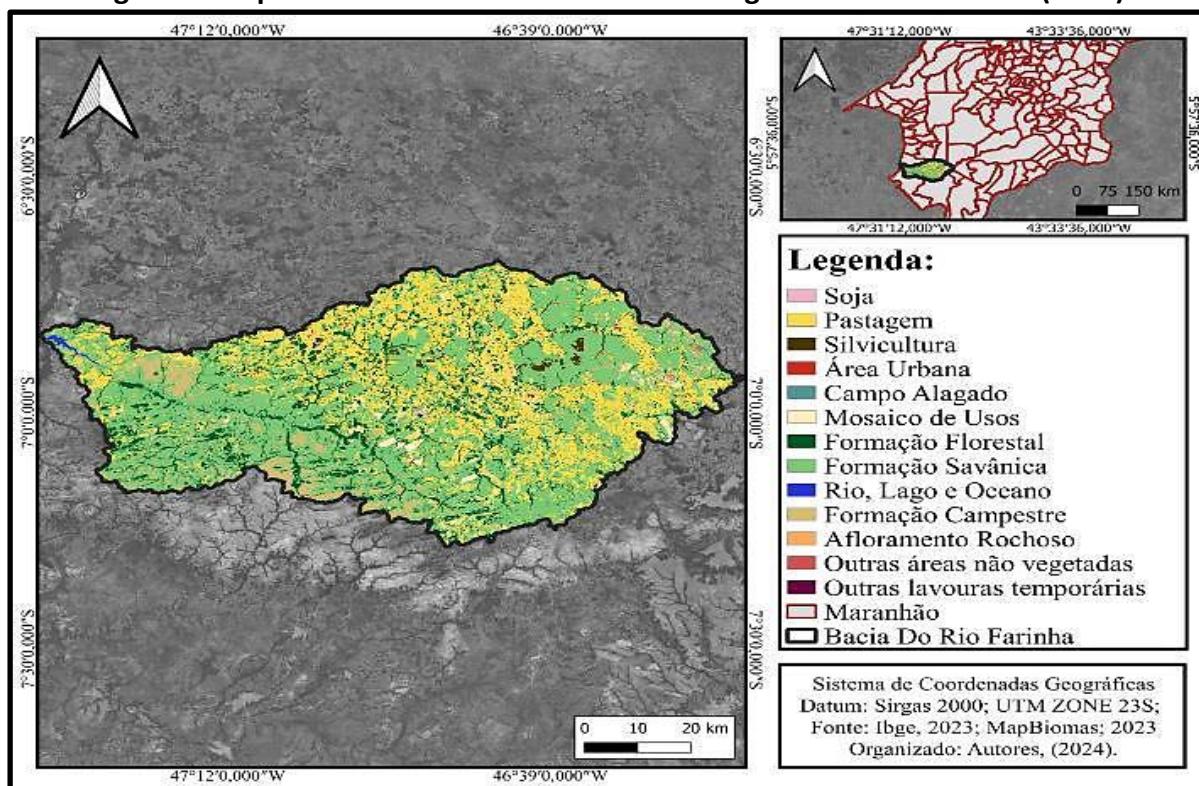
antrópica ao longo do período, o que pode estar associado à recuperação de áreas florestais ou à diminuição do uso agrícola intensivo (Alencar *et al.*, 2020).

Sendo assim, é importante destacar a relevância do uso e cobertura da terra no que tange à compreensão da dinâmica das queimadas, a partir da observação de como essas classes se organizam ao longo do tempo. Além disso, com a análise multitemporal, é possível identificar a predominância de algumas classes e os padrões de transformação da paisagem que influenciam na ocorrência e recorrência das queimadas (Braga *et al.*, 2024a).

Nesse contexto, o estudo de Zeferino (2018) demonstrou que a conversão de áreas nativas em outras classes, como pastagens, mesmo sob distintas práticas de manejo, resultou em mudanças na resiliência desses ambientes frente às queimadas. Esses dados reforçam a necessidade do monitoramento das mudanças do uso e cobertura do solo, tornando a sua atualização indispensável para a interpretação da relação entre atividade antrópica e ocorrência de queimadas.

No levantamento de dados mais recente a respeito do uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica do rio Farinha, atualizado em 2022, observa-se na Figura 6 uma variação significativa e ao mesmo tempo um padrão em relação aos resultados anteriores apontados por Nobre *et al.* (2020).

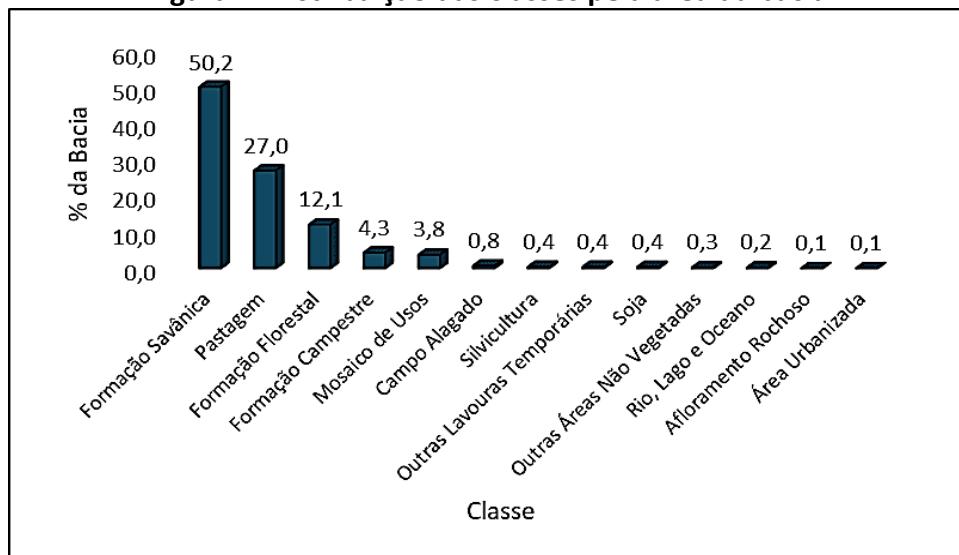
**Figura 6: Mapa de uso e cobertura da Bacia Hidrográfica do Rio Farinha (2022)**



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2024.

De acordo com os dados apresentados na Figura 7, observa-se que as classes que ocupam maior área da bacia são: formação savânica (50,2%) que predomina na região, seguida pela pastagem (27%) e formação florestal (12,1%). Dessa forma, é possível identificar que as áreas que mais contribuem para a recorrência de queimadas são as que ocupam maior extensão da bacia, sendo os naturais com formação savânica pela presença de vegetação inflamável e períodos de estiagem, e as de pastagem, pela inflamabilidade da vegetação e presença de práticas agropecuárias ou gestão intensa das áreas.

**Figura 7: Distribuição das classes pela área da bacia**



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

Nesse contexto, o uso do fogo pelos habitantes é uma prática cultural, principalmente para finalidades agrícolas, realizando-se a limpeza da área com o objetivo de implementar plantio e pastagem (Sudré; Pãozinho; Leite, 2022). Trata-se de um método econômico e eficaz, utilizado até mesmo para o controle de plantas invasoras ou para a renovação de pastagens.

Contudo, um fator que afeta diretamente a Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, é o fato de que o Parque compreende em seu entorno e dentro de seus limites áreas particulares, um problema que gera conflitos entre gestores e população local quanto a desapropriação, visto que uma Unidade de Conservação da categoria Parque Nacional (PARNA) deve ser de proteção integral (Rocha *et al.*, 2022).

Além disso, estudos como o de Sales e Neto (2020) reforçam que o crescimento antrópico desordenado, sobretudo, vinculado à expansão de culturas agrícolas, tem provocado transformações significativas na paisagem do Cerrado maranhense. Esse avanço descontrolado das

atividades humanas contribui diretamente para o aumento dos focos de queimadas, especialmente em municípios cuja economia depende fortemente da agropecuária.

Assim como também ocorrem queimas controladas e prescritas, de acordo com a política de dentro do PNCM, nas quais são realizados o MIF e a construção de aceiros com a utilização do fogo — ação conduzida por agentes das brigadas de incêndio e por moradores locais (Carvalho, 2019; ICMBio, 2019).

Com isso, reforça-se que nem toda ocorrência ou recorrência de queimadas é de fato, maléfica ou um incêndio, uma vez que pode se tratar de medidas aplicadas para a prevenção de catástrofes. Essas medidas preventivas constituem uma possível causa da redução no percentual de área queimada entre os anos de 2018 e 2022 (Santos *et al.*, 2024).

#### 4. CONCLUSÃO

O estudo forneceu uma análise sobre a recorrência de queimadas ao longo de 37 anos na Bacia Hidrográfica do Rio Farinha, uma região de importância ecológica e socioeconômica, na qual, foi possível identificar padrões que permitem compreender os fatores que influenciam a ocorrência e recorrência das queimadas.

Observou-se que a maioria dos focos de queimadas se concentrou entre os anos de 2007 e 2017, coincidindo com períodos de secas prolongadas e eventos climáticos extremos, como o *El Niño*. As áreas mais afetadas localizam-se próximas à BR-230 e em zonas com elevado grau de antropização, onde predominam áreas de pastagens, o que revela a forte influência das atividades humanas sobre a dinâmica do fogo.

Adicionalmente, a redução significativa dos focos a partir de 2018 sugere que medidas de gestão e conservação, como a implementação do Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada das Mesas, podem ser eficazes na mitigação dos incêndios. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas ao uso sustentável da terra, à prevenção e ao controle do fogo, além da promoção de práticas de manejo adequadas, que conciliem conservação ambiental e desenvolvimento local.

O monitoramento contínuo e o planejamento territorial integrado são fundamentais para a proteção das áreas sensíveis do Cerrado maranhense e que são necessários mais estudos voltados aos recursos hídricos, tendo em vista sua importância econômica e social.

Portanto, recomenda-se a continuidade deste estudo, incluindo cenários de mudanças climáticas para entender melhor as correlações com a dinâmica de uso e cobertura do Cerrado. Também é sugerido o desenvolvimento de sistemas automatizados de monitoramento, com sensoriamento remoto e inteligência artificial, para aprimorar a detecção de riscos e apoiar estratégias de prevenção e manejo do fogo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, R. C. R. *et al.* The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science Advances**, [s. l.], v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017. Disponível em: <http://advances.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/sciadv.1701284>. Acesso em: 31 ago. 2024.

ALENCAR, A. *et al.* Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 6, e924, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/924>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos savanna vegetation enclave (Brazilian Amazon). **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 601, p. 142–158, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717312986>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, [s. l.], v. 9, e536, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02771-y>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ASSIS, P. C.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. Unidades de Conservação e sua efetividade na proteção dos recursos hídricos na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, n. 1, e60335, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/60335>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BEUCHLE, R. *et al.* Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, [s. l.], v. 58, p. 116–127, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>. Acesso em: 22 abr. 2025

BRAGA, E. V. *et al.* Análise das mudanças de uso e cobertura da terra na região metropolitana do sudeste maranhense: um estudo na interface de transição entre Cerrado e Amazônia. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína, v. 13, n. 30, p. 134–150, 2024a. Disponível em: <https://periodicos.ufnt.edu.br/index.php/geografia/article/view/19176>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BRAGA, E. V. *et al.* Impacto das queimadas na reserva extrativista do Ciriaco. **Caderno Pedagógico**, [s. l.], v. 21, n. 13, e12787, 2024b. Disponível em:  
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/12787>. Acesso em: 21 maio 2025.

CARTA, F. *et al.* Advancements in forest fire prevention: a comprehensive survey. **Sensors**, [s. l.], v. 23, n. 14, e6635, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/14/6635>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CARVALHO, I. S. **Análise espaço-temporal do regime de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, Balsas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/1752>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CARVALHO, I. S. *et al.* Classificação da vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão, usando Obia, Machine Learning e Softwares Livres. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019. Florianópolis. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/classificacao-da-vegetacao-do-parque-nacional-da-chapada-das-mesas-maranhao-usan?lang=pt-br>. Acesso em: 22 ago. 2024.

COELHO, T. F. *et al.* Impactos dos poluentes resultantes das queimadas na saúde humana. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 1–15, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21752/209209217791>. Acesso em: 20 maio 2025.

CUNHA, G. R. *et al.* El Niño/La Niña – Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, [s. l.], n. 121, p. 18–22, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/914645>. Acesso em: 22 abr. 2025.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 11–15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FIDELIS, A. *et al.* The year 2017: megafires and management in the cerrado. **Fire**, [s. l.], v. 1, n. 3, e49, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-6255/1/3/49>. Acesso em: 22 abr. 2025.

FONSECA, M. G. *et al.* Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 2931–2946, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14709>. Acesso em: 26 maio 2025.

HURTEAU, M. D. *et al.* Vegetation-fire feedback reduces projected area burned under climate change. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, e2838, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-39284-1>. Acesso em: 22 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass**. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html?=&t=sobre>. Acesso em: 31 maio 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Rio de Janeiro. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/>. Acesso em: 31 maio 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de manejo do Parque Nacional da Chapada das Mesas**. Brasília: ICMBio, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomass/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-chapada-das-mesas/parna-da-chapada-das-mesas>. Acesso em: 10 jun. 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Mapa de zoneamento - plano de manejo do Parque Nacional da Chapada das Mesas**. Brasília: ICMBio, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomass/cerrado/lista-de-ucs/parna-da-chapada-das-mesas/parna-da-chapada-das-mesas>. Acesso em: 02 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Boletim Agroclimatológico da Safra 2021/2022**. Brasília: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro#>. Acesso em: 14 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Perguntas frequentes – Programa Queimadas**. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: [https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/pages/secao\\_informacoes/faq/index.html](https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/pages/secao_informacoes/faq/index.html). Acesso em: 14 ago. 2025.

KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/list/15#issue3>. Acesso em: 26 maio 2025.

LEÃO, H.; SILVA-JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O. Temporal fire metrics (for burned area) in GEE API Python (1.0). **Zenodo**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://zenodo.org/records/10119454>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/MTyRKxxGcdwCvVhGNJNTrbG/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MARQUES, A. R. **Saberes geográficos integrados aos estudos territoriais sob a ótica da implantação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, sertão de Carolina – MA**. 2012. 199 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/105036>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MATAVELI, G. A. V. *et al.* Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 96, p. 11–30, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/663>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MATAVELI, G. A. V. *et al.* Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 125–144, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-125-2018>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MATTOS, J. B. *et al.* Diagnóstico geoambiental da microbacia do rio Una, Sul da Bahia: morfometria, vegetação e uso do solo. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 13–29, 2017. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiciencia/article/view/3965>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Download de dados geográficos**. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 31 maio 2024.

NOBRE, N. C. *et al.* Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i1.19021>. Acesso em: 22 abr. 2025.

OLIVEIRA, L.; WAQUIL, P. D. Indicadores socioeconômicos e mudança no uso da terra: estudo na atividade florestal. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 106–133, 2011. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/512>. Acesso em: 21 maio 2025.

PILGRIM, C. Piecewise-regression (aka segmented regression) in Python. **Journal of Open Source Software**, [s. l.], v. 6, n. 68, e3859, 2021. Disponível em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03859>. Acesso em: 22 abr. 2025.

PLETSCH, M. A. J. S. *et al.* Near real-time fire detection and monitoring in the MATOPIBA region, Brazil. **Remote sensing**, [s. l.], v. 14, n. 13, p. 3141, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/13/3141>. Acesso em: 22 abr. 2025.

RESENDE, F. C. **Análise da distribuição espacial das áreas queimadas na porção nordeste do bioma cerrado**. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2017. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgeog/Fernanda.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ROCHA, H. A. *et al.* Detecção de mudança no uso e cobertura da terra ao longo de 10 anos (2007 e 2017) do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão. **Boletim de Geografia**, [s. l.], v. 39, p. 195–210, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v39.a2021.e58256>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SANTOS, B. V. *et al.* Análise da recorrência de áreas queimadas ao longo dos anos na bacia hidrográfica do rio Farinha, cerrado maranhense. In: SEMANA ACADÊMICA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E EXTENSÃO, 7., 2024, Imperatriz. **Anais** [...]. Imperatriz: SAPIENS, 2024. p. 264–264. Disponível em: <https://livros.uemasul.edu.br/index.php/inicio/catalog/view/11/11/314>. Acesso em: 21 maio 2025.

SALES, D. P.; NETO, F. M. O. Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014-2018). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 9, n. 18, p. 17–31, 2020. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/80>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: recent changes, policy and management. **Flora**, [s. l.], v. 268, e151613, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367253020300773>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* A zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado no estado do Maranhão. Parte II: Caracterização preliminar dos dados de área queimada (Produto MODIS MCD45A1). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7478–7485. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/sumario.htm>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, C. M.; PEREIRA FILHO, J. Variations in land use and land cover in a region of the brazilian Cerrado: a case study of the Farinha river basin, MA, and Chapada das Mesas National Park. **Agua y Territorio**, [s. l.], n. 25, p. 409–420, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.17561/at.25.8285>. Acesso em: 26 maio 2025.

SOUZA, S.; RICHTER, M.; COSTA, A. A importância das unidades de conservação para a proteção de recursos hídricos - estudo de caso da reserva biológica do Tinguá – RJ. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 19., 2018, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: AGB, 2018. p. 1–10. Disponível em: <http://www.eng2018.agb.org.br/site/anaiscomplementares2?AREA=19>. Acesso em: 22 abr. 2025.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 1, e0099, p. 1–3, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0099>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SUDRÉ, S. G. S.; PÃOZINHO, F. C.; LEITE, A. F. R. Análise crítica do plano de manejo do PARNA Chapada das Mesas, Maranhão, Brasil. **Revista Multidisciplinar do Amapá**, Macapá, v. 2, n. 1, p. 17–28, 2022. Disponível em: <http://periodicos.ifap.edu.br/index.php/REMAP/article/view/370/306>. Acesso em: 22 abr. 2025.

VEIGA, R. M. *et al.* Prescribed burning as a mechanism to mitigate emissions of extreme fire events: a case study from the Brazilian Cerrado. In: EUROPEAN GEOSCIENCES UNION GENERAL ASSEMBLY, 2024, Viena. **Anais** [...]. Viena: Copernicus Meetings, 2024. Disponível em: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-13497.html>. Acesso em: 15 jul. 2025.

WEATHERSPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Carolina no ano todo** [S. I.], 2025. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30241/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Carolina-Maranh%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 22 abr. 2025.

XAUD, M. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Dinâmica do uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima utilizando técnicas de detecção de mudanças. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, n. 1, p. 107–120, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000100011>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ZEFERINO, L. B. **Dinâmica do uso e cobertura do solo e os impactos sobre a matéria orgânica em ambientes de transição Floresta Amazônica – Cerrado**. 2018. 184 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/29290>. Acesso em: 22 abr. 2025.

*Artigo submetido em: 25/04/2025*

*Artigo aceito em: 08/08/2025*

*Artigo publicado em: 31/12/2025*



*Este é um artigo publicado com acesso aberto sob Licença Creative Commons  
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*