

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – CECEN
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – DEGEO
CURSO DE GEOGRAFIA

DEYVID DA CONCEIÇÃO BORGES

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS REGIMES DE FOGO EM ÁREAS
PROTEGIDAS DO MARANHÃO:** Impactos do Manejo Integrado do Fogo.

**São Luís – MA
2025**



Uema

UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

DEYVID DA CONCEIÇÃO BORGES

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS REGIMES DE FOGO EM ÁREAS
PROTEGIDAS DO MARANHÃO: Impactos do Manejo Integrado do Fogo.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geografia da Universidade
Estadual do Maranhão para o grau de
licenciatura em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz.
Coorientadora: Profa. Dra. Izadora Santos de
Carvalho

**São Luís – MA
2025**

Borges, Deyvid da Conceição

Dinâmica espaço-temporal dos regimes de fogo em áreas protegidas do Maranhão: impactos do manejo integrado do fogo. / Deyvid da Conceição Borges. – São Luis, MA, 2025.

48 f

TCC (Graduação em Geografia Licenciatura) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz.

Coorientador: Profa. Dra. Izadora Santos de Carvalho

1.Cerrado. 2.Regime de fogo. 3.Áreas protegidas. 4.Manejo Integrado do Fogo. I.Título.

CDU:504.61

DEYVID DA CONCEIÇÃO BORGES

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DOS REGIMES DE FOGO EM ÁREAS
PROTEGIDAS DO MARANHÃO: Impactos do Manejo Integrado do Fogo.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geografia da Universidade
Estadual do Maranhão para o grau de
licenciatura em Geografia.

Aprovado em: 25/06/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br TIAGO MASSI FERRAZ
Data: 12/07/2025 10:59:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Drº Tiago Massi Ferraz (Orientador)
Doutor em Fisiologia Vegetal
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLOS LEANDRO DE OLIVEIRA CORDEIRO
Data: 16/07/2025 09:52:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Drº Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro
Doutor em Sensoriamento Remoto
WRI Brasil

Documento assinado digitalmente
gov.br PRISCILLA VENANCIO IKEFUTI
Data: 13/07/2025 16:52:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª Priscilla Venâncio Ikefuti
Doutora em Geografia Física
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza e guia, que nunca me abandonou nos momentos de dúvida e sempre iluminou meu caminho.

À minha mãe, Sandra Leidiana Campelo da Conceição, meu maior exemplo de coragem e dedicação, por todo o amor, apoio incondicional e pelos inúmeros sacrifícios feitos para que eu pudesse permanecer em São Luís - MA e concluir meu curso. Nunca esquecerei o dia em que deixei o interior rumo à capital e, pela janela do carro, vi a senhora chorando. Naquele instante, meu coração apertou, eu sabia o quanto era difícil para a senhora ver um filho de apenas 17 anos partir para longe, enfrentando o desconhecido. Mas mesmo com o peito cheio de saudade, a senhora me deixou ir, com os olhos molhados e o coração cheio de esperança. Foi ali que prometi, em silêncio, que faria tudo valer a pena — e essa conquista é, antes de tudo, sua. Obrigado por nunca medir esforços para me ver realizado.

Ao meu pai, Rubenilson Gonçalves Borges, guerreiro incansável e exemplo de homem. Sua força, simplicidade e valores sempre me inspiraram a seguir em frente com coragem e dignidade. Levo comigo os ensinamentos e o orgulho de ser seu filho.

Estendo minha gratidão a todos os meus familiares, que torceram por mim e me incentivaram nos momentos em que pensei em desistir.

À minha namorada, Fernanda Passos Matos, meu carinho e agradecimento por todo apoio, paciência e companheirismo ao longo dessa jornada. Sua presença foi um alívio e uma força constante em minha trajetória.

Aos meus orientadores, Dr. Tiago Massi Ferraz e Dra. Izadora Santos de Carvalho, minha mais profunda gratidão. Chegaram quando quase ninguém acreditava em mim e, ainda assim, me acolheram como aluno de Iniciação Científica, confiando no meu potencial e me dando a oportunidade de crescer como pesquisador. Suas orientações, incentivo e confiança fizeram toda a diferença na minha caminhada acadêmica.

Agradeço imensamente ao Laboratório de Ciências Ambientais e Biodiversidade, espaço onde pude aprender, crescer e realizar esta pesquisa com dedicação. Cada experiência vivida ali contribuiu de forma única para minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço também ao PIBIC-CNPq (Edital nº 60/2024-PPG/UEMA) pelo apoio financeiro que tornou possível a realização deste projeto. Ter essa bolsa foi fundamental para que eu pudesse me dedicar à pesquisa de forma mais tranquila. Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPG/UEMA), meu muito obrigado pelo suporte e aprendizado ao longo do caminho. E ao Projeto MAP-Fire Maranhão (FAPESP nº 2020/16457-3), sou grato por ter contribuído com dados e conhecimento que enriqueceram muito esse trabalho.

A todos os professores, colegas e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Cada conversa, cada conselho e cada momento compartilhado foram peças fundamentais nessa trajetória.



Uema

UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

*“Honra teu pai e tua mãe, para que se
prolonguem os teus dias na terra que o Senhor,
teu Deus, te dá.”*

Exodo 20:12

RESUMO

Este trabalho analisou a dinâmica espaço-temporal dos regimes de fogo em áreas protegidas do Cerrado maranhense entre os anos de 2001 e 2024, considerando duas unidades de conservação (Parque Nacional da Chapada das Mesas e Parque Estadual de Mirador) e dois territórios indígenas (Governador e Bacurizinho). A pesquisa teve como objetivo principal investigar a influência do Manejo Integrado do Fogo (MIF) sobre a frequência e intensidade das queimadas, bem como a relação entre os tipos de vegetação e os regimes de fogo. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite da série Landsat e dados do MapBiomas, com o apoio de geotecnologias para o mapeamento de cicatrizes de fogo e classificação das fitofisionomias. Os resultados indicam que as áreas com MIF implementado apresentaram maior controle do fogo e redução na área queimada ao longo do tempo, enquanto as áreas sem MIF mantiveram padrões instáveis e recorrentes de incêndios. Conclui-se que o MIF é uma estratégia eficaz para mitigar os impactos do fogo, promover a conservação da vegetação nativa e fortalecer a gestão ambiental em áreas protegidas do Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; Regime de fogo; Áreas protegidas; Manejo Integrado do Fogo; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

This study analyzed the spatiotemporal dynamics of fire regimes in protected areas of the Brazilian Cerrado from 2001 to 2024, focusing on two conservation units (Chapada das Mesas National Park and Mirador State Park) and two Indigenous Territories (Governador and Bacurizinho). The main objective was to investigate the influence of the Integrated Fire Management (IFM) on fire frequency and intensity, as well as the relationship between vegetation types and fire regimes. Satellite images from the Landsat series and data from MapBiomas were used, along with geotechnologies for fire scar mapping and vegetation classification. The results show that areas with IFM implementation exhibited greater control over fire and a reduction in burned area over time, while areas without IFM maintained unstable and recurring fire patterns. It is concluded that IFM is an effective strategy to mitigate fire impacts, promote the conservation of native vegetation, and strengthen environmental management in protected areas of the Cerrado.

Keywords: Cerrado; Fire regime; Protected areas; Integrated Fire Management; Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo: TI Governador, TI Bacurizinho, PN Chapada das Mesas e PE Mirador.....	20
Figura 2 – Detecção e vetorização de cicatrizes de fogo com Landsat 8 (Mirador).....	22
Figura 3 – Uso e cobertura do solo nas Unidades de Conservação (2001 e 2023).....	24
Figura 4 – Uso e cobertura do solo nas Terras Indígenas (2001 e 2023).....	25
Figura 5 – Mapa de frequência de fogo no PN Chapada das Mesas (2001–2024).....	26
Figura 6 – Mapa de frequência de fogo no Parque Estadual do Mirador (2001–2024).....	27
Figura 7 – Mapa de frequência de fogo na TI Governador (A–C).....	29
Figura 8 – Mapa de frequência de fogo na TI Bacurizinho (2001–2023).....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso e cobertura do solo PNCM (2001-2023).....	25
Tabela 2 – Uso e cobertura do solo no PEM (2001-2023).....	26
Tabela 3 – Uso e cobertura do solo na TI Governador (2001-2023).....	28
Tabela 4 – Uso e cobertura do solo na TI Bacurizinho (2001-2023).....	28

LISTA DE SIGLAS

AP – Área Protegida

BRIFs-I – Brigadas Federais Indígenas

FUNAI – Fundação Nacional dos Povos Indígenas

GEE – Google Earth Engine

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MDE – Modelo Digital de Elevação

MIF – Manejo Integrado do Fogo

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

OLI – Operational Land Imager

PARNA / PNCM – Parque Nacional da Chapada das Mesas

PEM – Parque Estadual do Mirador

PIBIC-CNPq – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

PPG/UEMA – Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Maranhão

QGIS – Quantum GIS

TI – Terra Indígena

TM – Thematic Mapper

UC – Unidade de Conservação

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 Geral.....	18
3.2 Específicos.....	18
4. METODOLOGIA.....	19
4.1 Desenho amostral.....	19
4.2 Regime de Fogo nas Áreas do Estudo	19
4.3 Relação Regime de Fogo e Vegetação	20
4.4 Coleta e Processamento dos Dados de Cicatrizes de Fogo	21
4.5 Processamento e Análise dos Dados	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.2 Análise do Uso e Cobertura do Solo nas Terras Indígenas (2001–2023).....	25
5.3 Dinâmica Espacial da Frequência de Fogo nas Unidades de Conservação (2001–2024).....	26
5.4 Dinâmica Espacial da Frequência de Fogo nas Terras Indígenas (2001–2023).	28
5.5 Parque Nacional da Chapada das Mesas : Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2024).	30
5.6 Parque Estadual do Mirador: Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2024).....	31
5.7 Território Indígena de Governador : Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2023).	33
5.8 Território Indígena de Bacurizinho : Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2023).	35
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38

REFERÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas savânicos são encontrados em diversas localidades do globo, como África, Austrália, Ásia, Europa, América Latina e América do Norte (Archibald *et al.*, 2013; Lehmann *et al.*, 2014; Scholes; Archer, 1997). Por estarem em constante modificações, são necessárias aplicações de medidas que possam mitigar a perda da biodiversidade desses ambientes, devido aos impactos antrópicos. Dessa maneira, devemos buscar entender sobre os processos ecológicos, como a interação fogo-flora-fauna-homem-ambiente, que ocorrem nas savanas pelo mundo.

A savana brasileira, denominada Cerrado, ocupa 25% do território do país, sendo o segundo maior bioma e ficando atrás apenas do bioma Amazônico (Durigan; Ratter, 2016). O Cerrado se destaca das demais savanas existentes pelo mundo, sendo considerado um dos *hotspots* mundiais e detentor de grande biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). Compreende áreas dos estados de Goiás, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Distrito Federal e Paraná (Eiten, 1972; Ribeiro; Walter, 2008; Sano *et al.*, 2010).

Atualmente cerca de 9% do bioma Cerrado está protegido por unidades de conservação (UC) e 4,8% correspondem a territórios indígenas (TI) (Resende *et al.*, 2021; MMA, 2024;). As áreas protegidas, como unidades de conservação e território indígenas, permitem à conservação e preservação de ambientes de elevado interesse ecológico, possibilitando a mitigação de impactos antrópicos, diretos e indiretos, causados aos ecossistemas. Além disso, os eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes e intensos também vem atuando nos processos ecológicos naturais destes ecossistemas, como por exemplo no regime de fogo.

A implantação de programas como o Manejo Integrado do Fogo - MIF colabora para o manejo e gestão de áreas protegidas (APs), sendo ainda uma forma de aproximar gestores das áreas, pesquisadores e comunidade, além de buscar evitar a ocorrência de grandes incêndios. Entender o regime do fogo nas APs pode tornar os programas de manejo de fogo mais efetivos. Portanto, compreender como os fatores que atuam na ocorrência de queimadas estão relacionados com o regime do fogo pode contribuir para a gestão e monitoramento das APs e para o sucesso da implantação do MIF.

Embora o Manejo Integrado do Fogo (MIF) tenha avançado nos últimos anos em áreas protegidas brasileiras, os estudos ainda se concentram, majoritariamente, em unidades de conservação de gestão federal, como parques nacionais. São escassas as análises que abordam comparativamente os efeitos do MIF em diferentes categorias territoriais, especialmente nos

territórios indígenas localizados no Cerrado maranhense (Carvalho; Falleiro, 2023; Falleiro et al., 2020).

Essa lacuna na literatura dificulta a construção de estratégias de manejo mais eficazes, pois desconsidera as especificidades socioambientais de territórios tradicionais. A ausência de dados adaptados a essas realidades compromete o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas alinhadas aos modos de vida das comunidades locais (Falleiro *et al.*, 2023).

Além do papel ecológico, os territórios indígenas exercem uma função fundamental na conservação da biodiversidade e na regulação dos regimes de fogo. Essas áreas, tradicionalmente manejadas com base em conhecimentos ancestrais, apresentam práticas de uso do fogo que favorecem a resiliência dos ecossistemas e ajudam a prevenir grandes incêndios. De acordo com (Balé *et al.*, 2021), os saberes indígenas sobre o fogo são parte essencial da gestão dos territórios, promovendo a regeneração da vegetação e protegendo áreas sensíveis com estratégias de queima controlada.

Este estudo tem como objetivo reconstruir o histórico de fogo em áreas protegidas do Cerrado Maranhense, abrangendo dois territórios indígenas (TI Governador e TI Bacurizinho) e duas unidades de conservação (Parque Nacional da Chapada das Mesas e Parque Estadual de Mirador). Para isso, serão utilizadas imagens de satélite de média e alta resolução, cobrindo o período de 2001 a 2024, a fim de identificar padrões de ocorrência de fogo e analisar sua relação com os tipos de vegetação.

Considerando que o TI Governador e o Parque Nacional da Chapada das Mesas já implementaram o Manejo Integrado do Fogo (MIF), enquanto o TI Bacurizinho e o PE de Mirador ainda não, nossa hipótese é que o manejo de fogo influencia diretamente os padrões de regime de fogo nessas áreas. Os resultados deste trabalho poderão subsidiar estratégias de preservação, gestão e conservação dos remanescentes de Cerrado no Maranhão, além de contribuir para pesquisas futuras e programas de manejo em desenvolvimento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os ecossistemas savânicos, como o Cerrado brasileiro, possuem interações complexas com o fogo, sendo o conceito de “regime de fogo” frequência, intensidade e extensão dos incêndios essencial para compreender sua dinâmica ecológica (Bond; Keeley, 2005). O fogo, além de influenciar diretamente a composição da vegetação e os ciclos de nutrientes, atua como um elemento crucial para a manutenção da biodiversidade, especialmente em regiões tropicais (Bond; Midgley, 2012). Em ecossistemas como o Cerrado, o fogo age como um agente de seleção natural, promovendo a regeneração da vegetação e a diversidade de habitats, o que é confirmado por estudos de (Miranda *et al.*, 2002).

A presença do fogo em savanas tropicais é amplamente documentada, como destacam (Archibald *et al.*, 2013), sendo fundamental para a estruturação da vegetação em regiões tropicais. A heterogeneidade do Cerrado, em particular, deve-se em grande parte à sua longa história de interação com o fogo, sendo que diversos estudos mostram que as fitofisionomias dessa região são moldadas por queimadas frequentes, o que promove a adaptação de espécies a esses eventos (Eiten, 1972; Ribeiro; Walter, 2008). No entanto, a exclusão prolongada do fogo pode causar acúmulo de biomassa combustível, aumentando o risco de incêndios catastróficos (Durigan, 2002).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF) começou a ser implementado no Brasil em 2014, com um projeto piloto no Parque Nacional das Emas, em Goiás. Essa iniciativa foi coordenada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e pelo Prevfogo/Ibama, com apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento (GIZ), buscando testar estratégias de manejo que combinasse o uso controlado do fogo com a conservação ambiental (Schmidt *et al.*, 2018). Desde então, o MIF passou a ser adotado em outras unidades de conservação e terras indígenas no Cerrado e na Amazônia, com resultados positivos na redução das áreas queimadas e na prevenção de incêndios florestais de grandes proporções (Carvalho; Falleiro, 2023). O envolvimento das brigadas indígenas tem sido fundamental nesse processo, pois promove a valorização dos saberes tradicionais e fortalece o protagonismo das comunidades locais na gestão do fogo em seus territórios (Carvalho; Falleiro, 2023).

O processo de regulamentação do MIF avançou com a instituição da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, oficializada pela Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Essa política tem como objetivos disciplinar o uso do fogo, promover a articulação interinstitucional entre órgãos públicos e comunidades locais, reconhecer o papel ecológico do fogo nos ecossistemas e respeitar os conhecimentos tradicionais das populações indígenas e quilombolas

(Brasil, 2024). Além disso, o governo federal implementou a Operação Guardiões do Bioma, ação integrada de prevenção e combate a incêndios florestais, com a participação de brigadistas indígenas e de comunidades tradicionais, fortalecendo a gestão comunitária do fogo em diferentes biomas (ICMBio, 2024).

Embora o MIF tenha sido implementado de forma pioneira no Brasil a partir de 2014, essa estratégia tem suas raízes em experiências internacionais de sucesso. Países como a Austrália, os Estados Unidos e a África do Sul já utilizavam práticas semelhantes, conhecidas como "*Integrated Fire Management*" (IFM), com o objetivo de equilibrar a prevenção de incêndios florestais e a conservação dos ecossistemas (FAO, 2006). Essas experiências ajudaram a inspirar o modelo brasileiro, que foi adaptado às condições ecológicas, climáticas e socioculturais dos biomas nacionais, principalmente o Cerrado e a Amazônia (Falleiro *et al.*, 2020). No Brasil, o MIF buscou incorporar o aprendizado desses países, mas sempre valorizando os saberes tradicionais das comunidades locais.

Apesar dos avanços do MIF nas últimas décadas, ainda existem desafios importantes para a sua consolidação no Brasil. A transição de uma política antiga, que defendia o "fogo zero", para uma abordagem que reconhece o papel ecológico do fogo, gerou resistência por parte de alguns gestores públicos e de setores da sociedade (Schmidt *et al.*, 2018). Além disso, a falta de recursos financeiros e de capacitação adequada para as brigadas de incêndio em diversas regiões do país limita a efetividade das ações de manejo (Falleiro *et al.*, 2023). Outro desafio é garantir a participação efetiva das comunidades tradicionais e indígenas em todas as etapas do processo, desde a elaboração dos planos de manejo até a execução das atividades em campo (Falleiro *et al.*, 2023).

Antes mesmo de existirem políticas públicas sobre o tema, as comunidades indígenas, quilombolas e outras populações tradicionais já praticavam o uso do fogo de forma controlada e sustentável em seus territórios. Esses conhecimentos ancestrais incluem o uso do fogo para abrir roças, caçar, manejar pastagens e proteger áreas de floresta contra incêndios descontrolados (Balé, 2021). O MIF no Brasil reconhece a importância desses saberes, mas ainda há desafios para garantir que eles sejam plenamente respeitados e integrados nas políticas públicas e nos planos de manejo (Carvalho; Falleiro, 2023). Em muitos casos, a valorização desses conhecimentos tem fortalecido a autonomia das comunidades e gerado resultados mais eficazes no combate aos incêndios florestais.

O MIF também desempenha um papel importante na diminuição dos efeitos das mudanças climáticas. Ao reduzir a ocorrência de incêndios florestais de grandes proporções, o manejo integrado contribui para diminuir as emissões de gases de efeito estufa provenientes da

queima da biomassa (MCTI, 2020). Além disso, o uso planejado do fogo, através de queimadas prescritas, ajuda a manter a saúde dos ecossistemas e a resiliência das paisagens diante das alterações no clima, como o aumento das temperaturas e a intensificação dos períodos de seca (Silva *et al.*, 2020). Essas ações são fundamentais para garantir a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados pelos biomas brasileiros, em especial o Cerrado.

Dessa forma, o MIF é amplamente reconhecido como uma abordagem eficaz para a conservação de ecossistemas adaptados ao fogo, pois utiliza queimadas controladas e o gerenciamento de material combustível para prevenir grandes incêndios, enquanto preserva processos ecológicos críticos (Durigan; Ratter, 2016). A aplicação de queimadas prescritas por meio do MIF permite imitar regimes de fogo naturais, reduzindo o material combustível e auxiliando na recuperação de espécies nativas (Miranda *et al.*, 2009). Além disso, o MIF promove a conservação de funções ecológicas e a diversidade de habitats, o que é corroborado por (Kauffman *et al.*, 1994).

A aplicação de geotecnologias como o *Google Earth Engine* (GEE) tornou-se fundamental no monitoramento de incêndios e cicatrizes de fogo em grandes áreas protegidas, desse modo, essa ferramenta facilita a análise de dados espaciais e permite monitorar mudanças na cobertura vegetal em tempo real, o que é essencial para a implementação do MIF (Gorelick *et al.*, 2017). Esses dados são cruciais para orientar o planejamento de queimadas controladas e para responder de maneira rápida a eventos de fogo (Alencar *et al.*, 2004).

No contexto do Parque Nacional Chapada das Mesas, onde o MIF vem sendo implementado, as geotecnologias permitem um monitoramento contínuo das cicatrizes de incêndio e a identificação de áreas vulneráveis, possibilitando a criação de estratégias de manejo direcionadas para preservar áreas mais sensíveis, como matas ciliares (Alencar *et al.*, 2004). O uso de tecnologias de sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para a gestão adaptativa, pois permite uma melhor resposta ao fogo e contribui para a eficácia do MIF (Pivello, 2011).

A integração do MIF com geotecnologias não apenas facilita o manejo do fogo, mas também fortalece a resiliência dos ecossistemas e comunidades tradicionais frente às mudanças climáticas. A combinação de queimadas controladas com monitoramento via satélite permite a conservação da biodiversidade e reduz os impactos das mudanças nos regimes de fogo, reforçando a sustentabilidade e a resiliência dos ecossistemas do Cerrado (Hoffmann *et al.*, 2012). Portanto, o MIF, apoiado por tecnologias avançadas de monitoramento, representa uma abordagem integrada que beneficia tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais,

reafirmando o papel do fogo controlado como uma prática de conservação essencial (Schmidt *et al.*, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Buscar responder: 1) Existe uma relação entre a distribuição espacial e temporal da ocorrência de fogo em APs e suas diferentes fisionomias vegetais? 2) Qual a influência do manejo integrado do fogo no regime de fogo em APs?

3.2 Específicos

- a) Analisar o histórico do fogo nas APs (TI Governador; TI Bacurizinho; PN da Chapada das Mesas; e PE de Mirador) entre o período de 2001 a 2024, através do uso de imagens de satélite da série Landsat.
- b) Mapear os tipos de vegetação existentes nas APs (TI Governador; TI Bacurizinho; PN da Chapada das Mesas; e PE de Mirador).
- c) Avaliar a relação entre o regime de fogo encontrado e os tipos de vegetação, e comparar as áreas protegidas sem e com o MIF implementado.

4. METODOLOGIA

As áreas selecionadas para o estudo são: TI Governador ($5^{\circ} 29' 52''$ S e $46^{\circ} 39' 47''$ W); TI Bacurizinho ($5^{\circ} 53' 44''$ S e $45^{\circ} 48' 42''$ W); PN da Chapada das Mesas ($7^{\circ} 12' 58''$ S e $47^{\circ} 07' 40''$ W); e PE de Mirador ($6^{\circ} 34' 45''$ S e $45^{\circ} 16' 15''$ W), localizadas no estado do Maranhão. Todas as áreas selecionadas estão inseridas no bioma Cerrado e na área da Amazônia Legal (Figura 1).

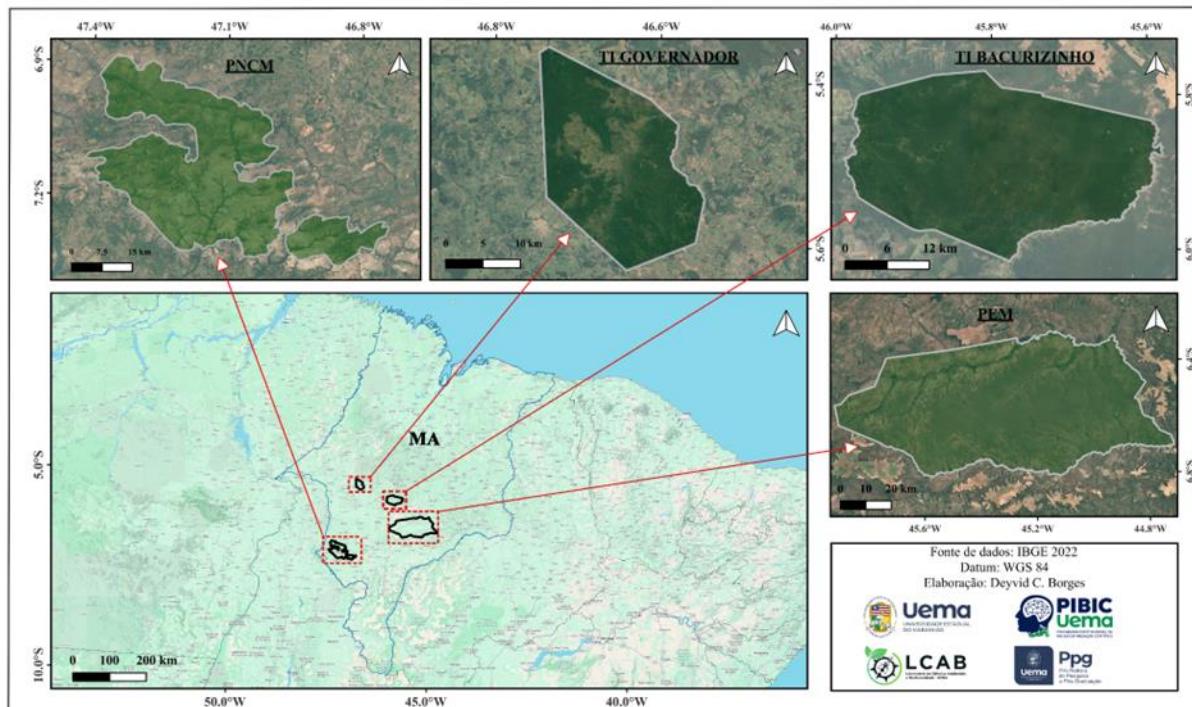


Figura 1. Localização das áreas de estudo: PARNA Chapada das Mesas - PNCM; TI Governador; TI Bacurizinho; e PE Mirador - PEM.

4.1 Desenho amostral

O estudo foi realizado de forma a permitir uma análise do regime de queimadas em todas as áreas entre 2001-2024 e sua relação com os tipos de vegetação. Dessa forma abrangendo cada fisionomia que permitirá a comparação com as características que podem influenciar nos padrões de distribuição do fogo encontrados. Assim como a análise entre áreas protegidas com (TI Governador e PN da Chapada das Mesas) e sem (TI Bacurizinho e PE de Mirador) a implementação do manejo integrado do fogo.

4.2 Regime de Fogo nas Áreas do Estudo

O regime de fogo foi analisado para as áreas de estudo abrangendo o período de 2001 a 2024. Para o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), foram utilizados os dados mapeados por De Carvalho *et al.* (2023) referentes ao período de 2001 a 2017, disponíveis em: <https://zenodo.org/records/10289082> (De Carvalho; Alvarado; Ferraz, 2023). O intervalo de

2018 a 2022 foi obtido a partir da tese de De Carvalho (2024). Já os anos de 2023 e 2024 foram mapeados manualmente por este autor, seguindo a mesma metodologia empregada por De Carvalho et al. (2023).

Os registros de queimadas no Parque Estadual de Mirador (2001–2023) foram obtidos da base de dados do MapBiomas Fogo (Coleção 3.0) via Google Earth Engine, seguindo a metodologia padrão de detecção de cicatrizes (Mapbiomas, 2023). Para 2024, os dados foram vetorizados manualmente conforme De Carvalho et al. (2023).

Já para as Terras Indígenas (Governador e Bacurizinho), os dados cobrem o período de 2001 a 2023, também obtidos a partir da base do MapBiomas (Coleção 3.0) no *Google Earth Engine*, seguindo o mesmo procedimento aplicado ao Parque Estadual de Mirador. Diferentemente das outras áreas, não foram vetorizados dados de 2024 para essas TIs, mantendo-se a análise restrita ao intervalo disponível na coleção.

Para isso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) e Landsat 9 Operational Land Imager (OLI), com resolução espacial de 30 metros. O mapeamento das cicatrizes de fogo foi realizado de forma manual em escala de 1:25.000, (Figura 2).

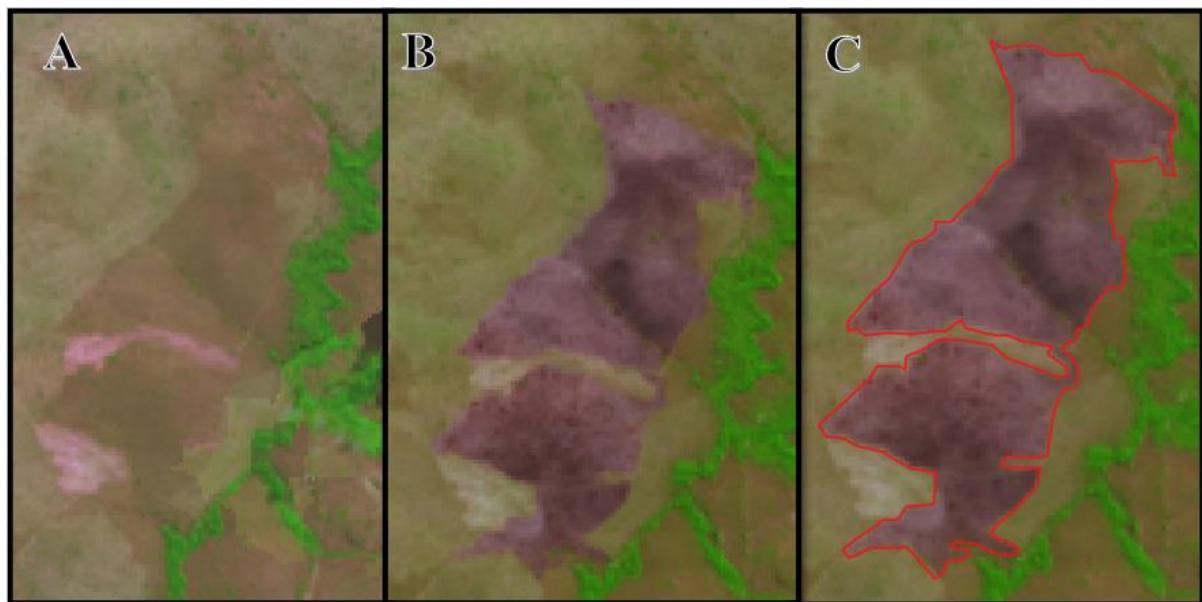


Figura 2 - Imagens de satélite Landsat 8 do Parque Estadual de Mirador, representando a detecção e vetorização de cicatrizes de fogo. (A) Composição pré-fogo adquirida em maio. (B) Composição pós-fogo registrada em junho. (C) Delimitação vetorial da área queimada em escala de 1:25.000.

4.3 Metodologia para Análise e Classificação do Uso e Cobertura do Solo

A análise do uso e cobertura do solo neste trabalho foi realizada com base nos dados disponibilizados pela plataforma MapBiomas, Coleção 9, que fornece séries históricas anuais de uso e cobertura da terra para o território brasileiro (MapBiomas, 2024). Essa base de dados

foi acessada por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), ferramenta amplamente utilizada para processamento e análise de dados geoespaciais em nuvem, permitindo a obtenção de informações em escala adequada para o estudo das áreas protegidas analisadas.

A partir do GEE, foram extraídas as informações correspondentes aos anos de 2001 e 2023, com foco específico nas áreas recortadas das unidades de conservação e terras indígenas selecionadas para a pesquisa. Após o download, os arquivos vetoriais e matriciais obtidos foram processados no software QGIS, ambiente livre e amplamente utilizado para geoprocessamento. No QGIS, foram realizados o recorte espacial dos polígonos correspondentes às áreas de estudo e a classificação das diferentes classes de uso e cobertura do solo.

Posteriormente, as informações categorizadas foram organizadas e sistematizadas em tabelas para facilitar a análise quantitativa. Essa etapa foi conduzida no software Microsoft Excel, onde foram calculadas as áreas correspondentes a cada classe de uso e cobertura do solo, permitindo a comparação temporal entre os dois anos analisados (2001 e 2023). Essa abordagem metodológica possibilitou a geração dos mapas temáticos e das tabelas apresentadas nos resultados, servindo como base para as discussões realizadas ao longo do trabalho.

4.4 Coleta e Processamento dos Dados de Cicatrizes de Fogo

As imagens de cicatrizes de fogo para as áreas de estudo foram extraídas do Google Earth Engine (GEE) no formato GeoTIFF, utilizando a base de dados do MapBiomas. Esse formato permitiu a obtenção de imagens georreferenciadas, facilitando a identificação e o mapeamento das áreas queimadas. A análise focou nos períodos anteriores e posteriores à implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) em cada área protegida.

Após a extração, os dados foram processados e finalizados no software QGIS, onde foram gerados os mapas das áreas queimadas. Esse processo permitiu uma análise comparativa dos regimes de fogo entre as áreas antes e após a implementação do Manejo Integrado do Fogo, considerando fatores como frequência e extensão das queimadas.

Para as Unidades de Conservação, os dados de cicatrizes de fogo no Parque Nacional da Chapada das Mesas com área total de 160.046 hectares conforme o Instituto Socioambiental (ISA, 2024), abrangem o período de 2001 a 2013 (antes da implementação do MIF) e de 2014 a 2024 (após a implementação do MIF). No caso do Parque Estadual de Mirador, foi considerado integralmente o limite atual da unidade de conservação, conforme definido pela Lei nº 8.958, de 8 de maio de 2009, que estabelece uma área de 766.781 hectares. A análise compreendeu todo o período de 2001 a 2024 utilizando esse limite, a fim de garantir

uniformidade espacial nos resultados e compatibilidade com as bases cartográficas oficiais vigentes.

Para os Territórios Indígenas, no caso da TI Governador, com área total de aproximadamente 42.000 hectares, conforme informações do Instituto Socioambiental (ISA, 2024), a análise também foi dividida em dois períodos. Os dados de cicatrizes de fogo irão abranger o período de 2001 a 2012 como fase anterior ao MIF e de 2013 a 2023 como fase posterior. A implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) na TI Governador teve início em 2013 (Funai, 2022), quando foi firmado um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) entre a Funai e o Prevfogo/Ibama.

Esse acordo viabilizou a realização anual do Programa Brigadas Federais Indígenas (BRIFs-I), responsável pela formação de brigadas compostas por indígenas capacitados e pela execução de ações de MIF na área. As BRIFs-I são contratadas anualmente por um período de seis meses e atuam principalmente na prevenção e combate aos incêndios florestais durante o período crítico do fogo, contribuindo para a gestão do território e a mitigação dos impactos ambientais causados pelos incêndios descontrolados.

No caso da Terra Indígena Bacurizinho com uma extensão aproximada de 82.000 hectares, conforme o Instituto Socioambiental (ISA, 2024), onde não foram implementadas ainda práticas de manejo integrado do fogo, o estudo buscou caracterizar o comportamento natural das queimadas ao longo do período de 2001 a 2023. A análise focou em identificar padrões de ocorrência, extensão e recorrência do fogo, oferecendo um panorama claro de como as dinâmicas de queimadas se manifestam em áreas sem intervenções de manejo ativo. Essa abordagem permitiu compreender a evolução temporal das cicatrizes de fogo em um contexto onde os processos ecológicos e antrópicos atuam sem mediação de estratégias de controle.

Dessa forma, enquanto a TI Governador teve sua análise direcionada para avaliar os efeitos da implementação do MIF, o estudo na TI Bacurizinho priorizou a descrição do regime de fogo em sua condição natural, sem comparações diretas. Essa distinção metodológica foi essencial para respeitar as particularidades de cada território e os diferentes contextos de gestão territorial.

Os softwares utilizados para a realização das análises espaciais e estatísticas, incluindo o processamento das imagens e a organização dos dados obtidos sobre cicatrizes de fogo e cobertura da vegetação, foram o QGIS (versão estável) e o ambiente estatístico R (R Core Team, 2023), com apoio dos pacotes *dplyr* (Wickham *et al.*, 2023) e *ggplot2* (Wickham, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do Uso e Cobertura do Solo nas Unidades de Conservação (2001–2023)

Durante as análises foram realizadas comparações do uso e cobertura da terra entre os anos de 2001 e 2023 para duas unidades de conservação no Cerrado maranhense: o Parque Nacional da Chapada das Mesas (Figuras 3A e 3B) e o Parque Estadual de Mirador (Figuras 3C e 3D).

No PNCM, observa-se entre 2001 (Figura 3A) e 2023 (Figura 3B) uma manutenção relativa das formações naturais, com predominância da formação savânicas e, em menor proporção, formações florestais (Figura 3A e 3B). No entanto, há sinais de expansão de áreas antrópicas, principalmente pastagens e mosaico de usos, sobretudo em regiões de borda e setores centrais da unidade. Essa ocupação crescente por usos produtivos pode indicar pressões externas recorrentes, como desmatamento e atividades agropecuárias, que influenciam na fragmentação do ambiente natural e, consequentemente, na dinâmica do fogo.

Na área do PEM, as imagens de 2001 e 2023 demonstram um maior grau de conservação da vegetação nativa, com domínio expressivo das formações savânicas e quase nenhuma presença de usos antrópicos mais intensivos, como lavouras ou silvicultura (Figura 3C e 3D). Apesar disso, nota-se um ligeiro avanço de formações campestres e áreas de pastagem, especialmente nas bordas do território, o que pode ser um indício de ocupações mais recentes e pressões gradativas sobre a UC.

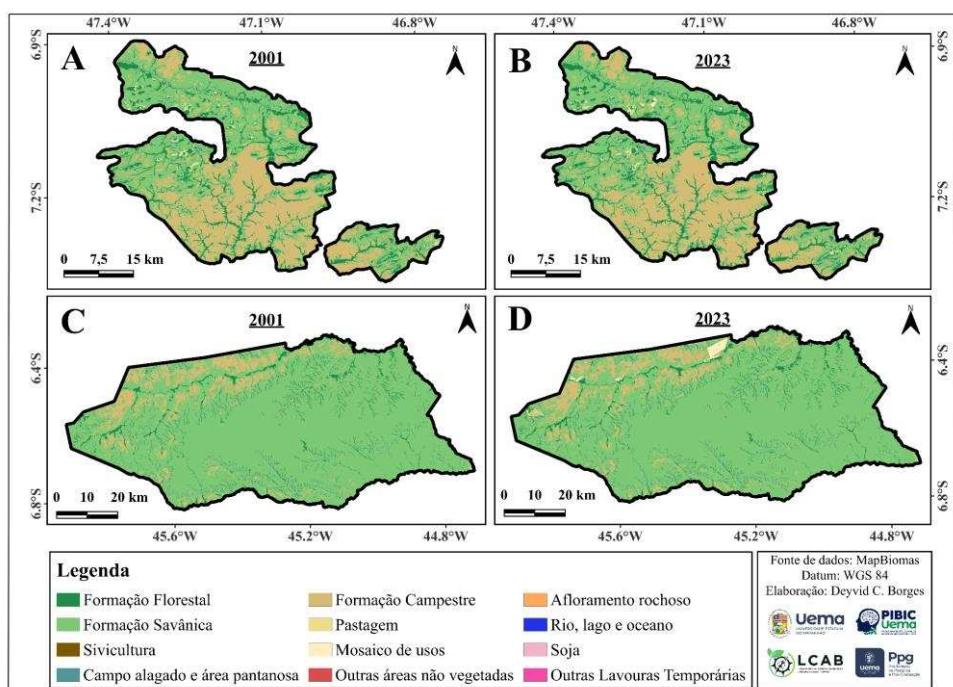


Figura 3 – Uso e cobertura do solo nas Unidades de Conservação analisadas. Mapas comparativos do Parque Nacional da Chapada das Mesas (A – ano de 2001; B – ano de 2023) e do Parque Estadual de Mirador (C – ano de 2001; D – ano de 2023).

Esse contraste observado entre as duas UCs está de acordo com as análises realizadas por outros autores, que destacam o papel fundamental da conservação contínua da vegetação para a redução da propagação do fogo em áreas protegidas (Carvalho *et al.* 2023). A fragmentação observada no PNCM também segue o que foi apontado em estudos sobre a vulnerabilidade das savanas brasileiras, pois áreas sob crescente pressão antrópica tornam-se mais suscetíveis a incêndios recorrentes e descontrolados (Durigan; Ratter 2016).

Os dados quantitativos reforçam esse cenário. A formação florestal aumentou de 194,91 km² em 2001 para 202,22 km² em 2023, representando um acréscimo de 7,31 km² (3,75%). Já as formações savânicas, predominantes na cobertura, apresentaram uma redução de 749,72 km² para 741,16 km², o que corresponde a uma diminuição de 8,56 km² (-1,14%). Por outro lado, destaca-se o aumento expressivo da classe de pastagens, que passou de 12,92 km² para 17,30 km², um crescimento de 33,90%, refletindo o avanço das atividades agropecuárias sobre o território protegido. A classe de mosaico de usos apresentou queda, passando de 9,47 km² para 7,11 km² (-24,92%) (Tabela 1).

Coleção 9 MAPBIOMAS (Km²)

Categoria e uso do solo	Ano			
	2001	2023	Mudança (Km ²) (2001-2023)	Mudança (%) (2001-2023)
Formação Florestal	194,91	202,22	7,31	3,75
Formação Savânica	749,72	741,16	-8,56	-1,14
Silvicultura	0,014	0,041	0,03	192,86
Campo Alagado e Área Pantanosa	35,05	36,05	1,00	2,85
Formação Campestre	586,26	585,48	-0,78	-0,13
Pastagem	12,92	17,3	4,38	33,90
Mosaico de Usos	9,47	7,11	-2,36	-24,92
Outras Áreas não vegetadas	0,21	0,2	-0,01	-4,76
Afloramento Rochoso	9,07	9,07	0,00	0,00
Rio, Lago e Oceano	1,51	0,51	-1,00	-66,23
Soja	0,10	0,11	0,01	10,00

Tabela 1 - Uso e cobertura do solo no PNCM (2001–2023).

No PEM, o cenário foi de manutenção da vegetação nativa, com predominância das formações savânicas e florestais. A formação florestal aumentou de 239,36 km² para 244,68 km² (2,22%), enquanto a formação savânica reduziu discretamente, passando de 4222,6 km² para 4184,83 km² (-0,89%). A classe de pastagens, por sua vez, apresentou um crescimento expressivo, passando de 0,45 km² para 7,38 km² (1540%), e o mosaico de usos aumentou de 0,6 km² para 26,21 km² (4268,33%). Esses aumentos, embora representem áreas relativamente pequenas em relação ao total da unidade, indicam processos iniciais de ocupação e transformação do uso do solo em suas bordas (Tabela 2).

Coleção 9 MAPBIOMAS (Km²)

Categoria e uso do solo	Ano			
	2001	2023	Mudança (Km ²) (2001-2023)	Mudança (%) (2001-2023)
Formação Florestal	239,36	244,68	5,32	2,22
Formação Savânica	4222,6	4184,83	-37,77	-0,89
Campo Alagado e Área Pantanosa	85,43	90,57	5,14	6,02
Formação Campestre	463,33	455,86	-7,47	-1,61
Pastagem	0,45	7,38	6,93	1540,00
Mosaico de Usos	0,6	26,21	25,61	4268,33
Outras Áreas não vegetadas	0,06	0,16	0,10	166,67
Rio, Lago e Oceano	0,07	0	-0,07	-100,00
Soja	0,14	2,08	1,94	1385,71

Tabela 2 - Uso e cobertura do solo no PEM (2001–2023).

Esse contraste entre as duas unidades confirma as tendências já relatadas na literatura científica. A fragmentação mais acentuada do PNCM reforça os impactos da perda de vegetação natural na vulnerabilidade das áreas protegidas ao fogo. Já no PEM, a manutenção de extensas áreas contínuas de vegetação natural segue o entendimento de que a integridade da cobertura vegetal é um dos principais fatores de estabilidade ecológica em ecossistemas savânicos (Carvalho *et al.*, 2023; Durigan; Ratter, 2016).

Além disso, apesar da integridade relativamente preservada do PEM, pressões territoriais relacionadas à expansão agropecuária já incidem sobre suas bordas, indicando riscos futuros para a conservação e a dinâmica dos regimes de fogo (Batista, 2021).

Portanto, a análise integrada entre os mapas, os dados quantitativos e as discussões com a literatura científica permitem afirmar que a conservação da vegetação nativa é determinante para a estabilidade ecológica das unidades de conservação analisadas, especialmente no contexto do Cerrado maranhense.

5.2 Análise do Uso e Cobertura do Solo nas Terras Indígenas (2001–2023)

A análise do uso e cobertura do solo entre 2001 e 2023 nas Terras Indígenas Bacurizinho e Governador revelou diferenças marcantes no grau de conservação dos territórios (Figura 4). A TI Bacurizinho manteve-se amplamente dominada por formações florestais, com baixa fragmentação e presença mínima de atividades antrópicas. As poucas ocorrências de mosaico de usos e pastagens aparecem de forma esparsa, o que reforça a integridade ambiental dessa área ao longo dos anos. Essa condição contribui diretamente para a manutenção de regimes de fogo mais estáveis, associados às práticas tradicionais das comunidades e às dinâmicas ecológicas locais (Balé *et al.* 2021; Falleiro *et al.* 2020).

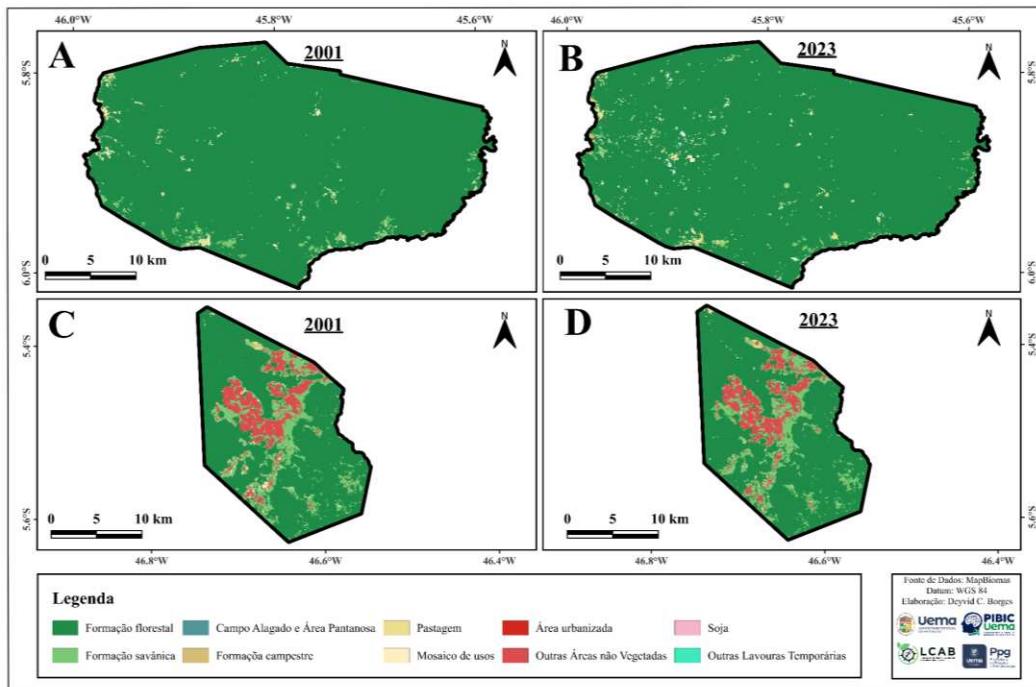


Figura 4 - Uso e cobertura do solo nas Terras Indígenas analisadas. Mapas comparativos da Terra Indígena Bacurizinho (A – ano de 2001; B – ano de 2023) e da Terra Indígena Governador (C – ano de 2001; D – ano de 2023).

Em contraste, a TI Governador apresentou desde 2001 uma paisagem fragmentada, marcada por áreas significativas de pastagem, mosaico de usos e formações campestres. Em 2023, essa fragmentação foi agravada pelo avanço de áreas urbanizadas e cultivos agrícolas, principalmente nas porções central e norte do território. Esse cenário está diretamente relacionado ao aumento da pressão antrópica sobre o território e pode comprometer a efetividade das ações do Manejo Integrado do Fogo (Carvalho; Falleiro 2023; Schmidt *et al.* 2018).

Essas observações são reforçadas pelos dados quantitativos. Na TI Governador, a formação florestal passou de 297,26 km² em 2001 para 302,61 km² em 2023, um aumento de 5,35 km² (1,80%). A formação savânica apresentou redução de 68,10 km² para 67,01 km² (-1,60%), enquanto as áreas de pastagem aumentaram de 2,02 km² para 4,41 km² (118,32%). O mosaico de usos diminuiu consideravelmente, passando de 3,99 km² para 1,15 km² (-71,18%), o que pode indicar transformação dessas áreas em pastagens e outros usos mais intensivos (Tabela 3).

Coleção 9 MAPBIOMAS (Km²)

Categoria e uso do solo	Ano		Mudança (Km ²) (2001-2023)	Mudança (%) (2001-2023)
	2001	2023		
Formação Florestal	297,26	302,61	5,35	1,80
Formação Savânica	68,1	67,01	-1,09	-1,60
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,16	0,1	-0,06	-37,50
Formação Campestre	0,4	0,23	-0,17	-42,50
Pastagem	2,02	4,41	2,39	118,32
Mosaico de Usos	3,99	1,15	-2,84	-71,18
Outras Áreas não vegetadas	48,87	45,28	-3,59	-7,35
Área Urbanizada	0,02	0,02	0,00	0,00
Soja	0,01	0,01	0,00	0,00

Tabela 3 - Uso e cobertura do solo na TI Governador (2001–2023).

Na TI Bacurizinho, predominam as formações florestais, que se mantiveram relativamente estáveis, variando de 800,51 km² em 2001 para 798,80 km² em 2023 (-0,21%). A formação savânica reduziu de 13,26 km² para 8,67 km² (-34,62%). Destaca-se o aumento expressivo da classe de silvicultura, passando de 0,01 km² para 5,82 km² (58100%), além do aumento de formações campestres, de 0,01 km² para 8,89 km² (88800%). A classe de pastagens passou de 2,11 km² para 6,90 km² (227,01%), evidenciando pressões mais recentes sobre o território (Tabela 4).

Coleção 9 MAPBIOMAS (Km²)

Categoria e uso do solo	Ano		Mudança (Km ²) (2001-2023)	Mudança (%) (2001-2023)
	2001	2023		
Formação Florestal	800,51	798,8	-1,71	-0,21
Formação Savânica	13,26	8,67	-4,59	-34,62
Silvicultura	0,01	5,82	5,81	58,100
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,16	0,27	0,11	68,75
Formação Campestre	0,01	8,89	8,88	88,800
Pastagem	2,11	6,9	4,79	227,01
Mosaico de Usos	8,93	4,38	-4,55	-50,95
Outras Áreas não vegetadas	0,05	0,1	0,05	100,00
Área Urbanizada	0,09	0,13	0,04	44,44

Tabela 4 - Uso e cobertura do solo na TI Bacurizinho (2001–2023).

Esses padrões reforçam a relação entre conservação ambiental e vulnerabilidade ao fogo. Estudos apontam que territórios com vegetação contínua tendem a apresentar menor recorrência de incêndios, enquanto a fragmentação aumenta o risco de queimadas descontroladas (Miranda *et al.*, 2002; Durigan; Ratter, 2016). Essa dinâmica pode ser percebida principalmente na TI Governador, onde a pressão antrópica crescente compromete a integridade da cobertura vegetal (Carvalho; Falleiro, 2023; Schmidt *et al.*, 2018).

Além disso, a presença de silvicultura e outras atividades econômicas mais recentes na TI Bacurizinho pode representar um novo fator de pressão sobre os regimes de fogo, exigindo atenção especial na formulação de estratégias de manejo integrado (Falleiro *et al.*, 2023).

Esses resultados demonstram que, apesar da preservação predominante nas Terras Indígenas, a transformação do uso do solo, mesmo que gradual, pode impactar diretamente os regimes de fogo, exigindo políticas públicas específicas e articulação com as comunidades locais para garantir a conservação efetiva desses territórios (Falleiro *et al.*, 2023; Schmidt *et al.*, 2018).

5.3 Dinâmica Espacial da Frequência de Fogo nas Unidades de Conservação (2001–2024).

A análise espacial da frequência de incêndios no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), entre 2001 e 2024, evidencia mudanças significativas no regime de fogo ao longo do tempo, especialmente após a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) em 2014 (Figura 5). No mapa geral (Figura 5A), nota-se a recorrência de focos de incêndio, com destaque para as porções centro-sul e leste da unidade. O recorte temporal entre 2001 e 2013 (Figura 5B), período anterior ao MIF, revela uma maior intensidade e distribuição irregular das queimadas. Em contraste, o intervalo de 2014 a 2024 (Figura 5C) mostra redução expressiva na frequência dos incêndios, sobretudo nas áreas mais críticas, indicando a influência direta do manejo ativo (De Carvalho *et al.*, 2023).

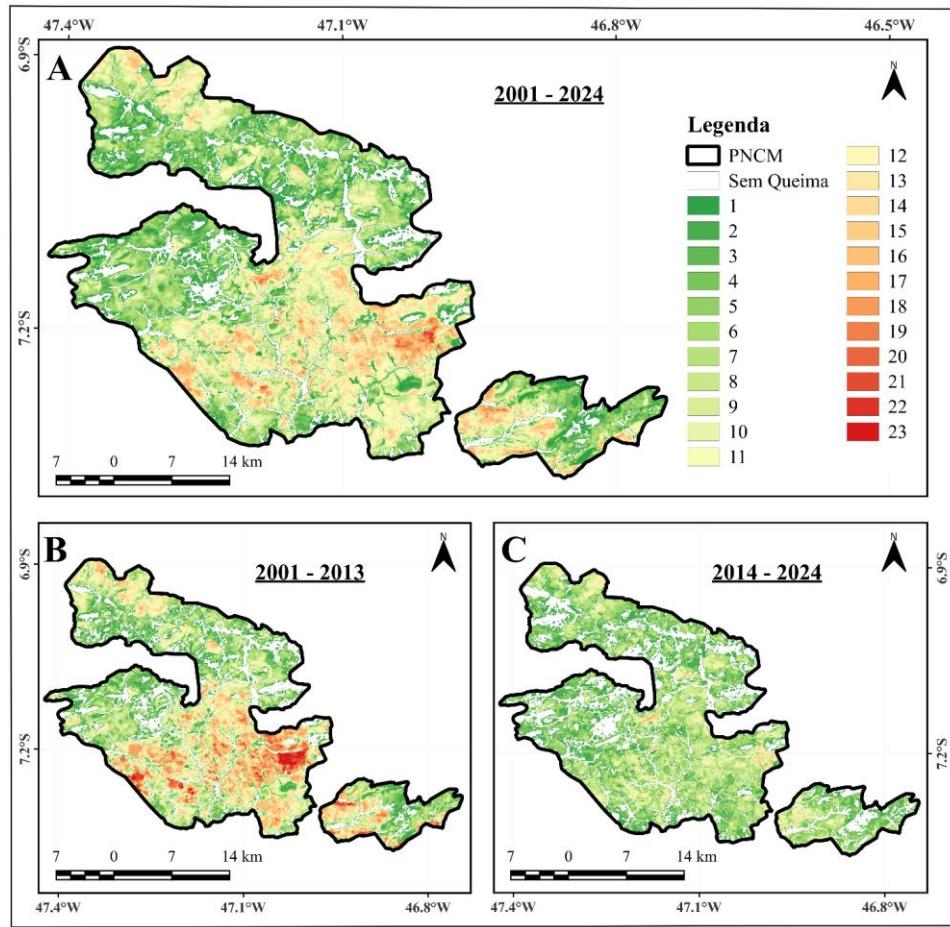


Figura 5 - Mapa de frequência de fogo no Parque Nacional da Chapada das Mesas (2001-2024) o mapa mostra a frequência de queimadas antes (B) e depois (C) da implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) em 2014.

Esse padrão observado no PNCM confirma os resultados apresentados por outros estudos desenvolvidos no Cerrado, que reforçam a eficácia do MIF na redução de grandes incêndios em áreas protegidas (Carvalho; Falleiro 2023; Falleiro *et al.* 2020). Além disso, experiências semelhantes foram registradas em unidades de conservação na região do Cerrado de Goiás e Mato Grosso, onde práticas de queima prescrita reduziram a reincidência de grandes focos de incêndio (Schmidt *et al.* 2018).

Por outro lado, o mapa de frequência de fogo do Parque Estadual de Mirador (PEM) revela um cenário oposto (Figura 6). Apesar da redefinição legal dos limites da unidade em 2009, o padrão de distribuição das queimadas manteve-se elevado entre 2001 e 2024, com concentração nas porções sul e sudeste. Essa permanência de focos recorrentes indica ausência de ações estruturadas de manejo do fogo, o que é comum em áreas protegidas estaduais sem programas específicos como o MIF (Carvalho; Falleiro 2023; Durigan; Ratter 2016).

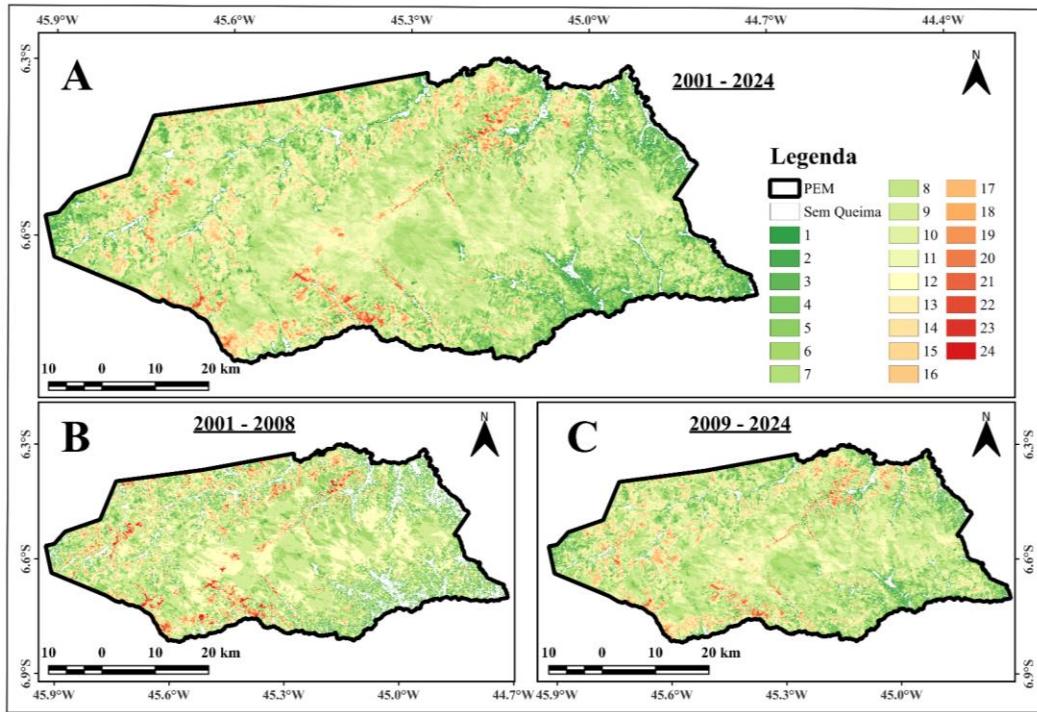


Figura 6 – Mapa de frequência de fogo no Parque Estadual de Mirador 2001-2024 (A) o mapa mostra a frequência de queimadas antes (B) e depois (C) do redimensionamento da área pela lei nº 8.958, de 8 de maio de 2009.

Esse comportamento também foi apontado em estudos que mostram que a ausência de manejo adequado em áreas protegidas pode resultar em aumento da recorrência e intensidade dos incêndios, especialmente em regiões de savana, como o Cerrado brasileiro (Miranda *et al.*, 2002).

Portanto, a comparação entre o PNCM e o PEM evidencia que a implementação de políticas como o MIF tem potencial real de modificar o regime de fogo em áreas protegidas, alinhando-se aos objetivos de conservação ambiental e mitigação de incêndios florestais no Cerrado (Falleiro *et al.*, 2023).

5.4 Dinâmica Espacial da Frequência de Fogo nas Terras Indígenas (2001–2023).

Em continuação, foi feito a análise dos mapas de frequência de fogo na Terra Indígena Governador para o período total de 2001 a 2023 (Figura 7A), e os períodos separados antes (2001–2012) e após (2013–2023) a implementação do Manejo Integrado do Fogo – MIF (Figura 7B e 7C). No mapa geral, observa-se que as áreas centrais e ao norte da TI foram as mais afetadas por queimadas ao longo dos anos, com pontos atingindo até 22 ocorrências de fogo (Figura 7).

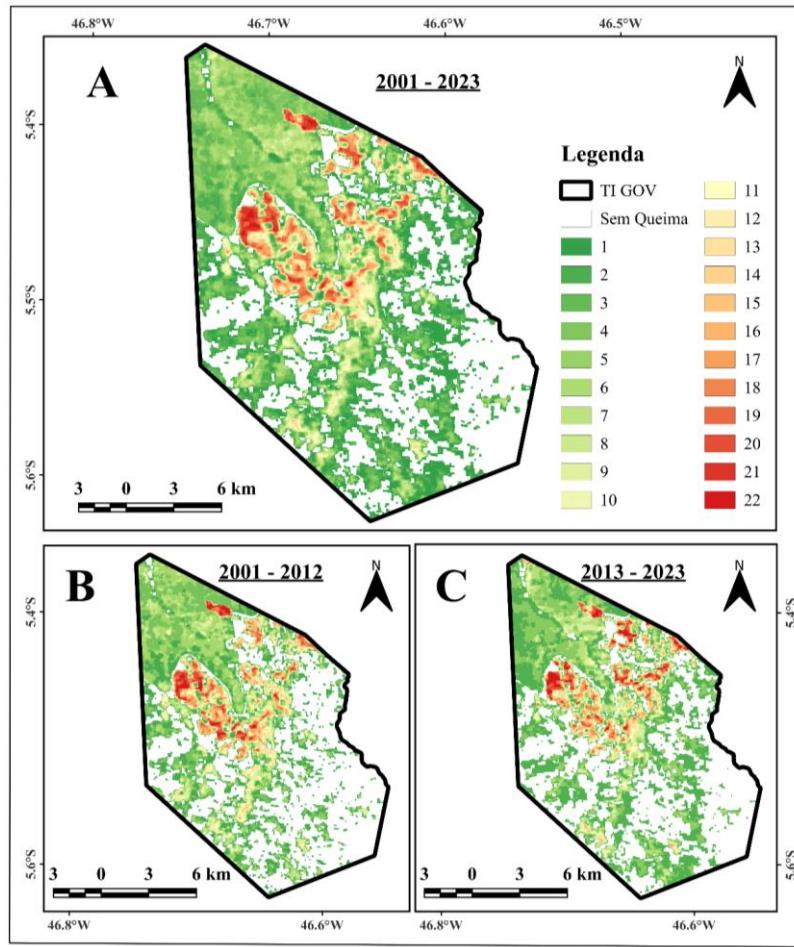


Figura 7 – Frequência de fogo na Terra Indígena de Governador (A) para o período completo, (B) para o período anterior ao MIF e (C) para o período posterior.

Antes do MIF (Figura 7B), o padrão de recorrência era mais concentrado e intenso, sugerindo ausência de controle sobre os eventos de queima. Após a adoção do MIF em 2013 (Figura 7C), nota-se uma leve redistribuição espacial e uma fragmentação das áreas de alta frequência. Embora ainda existam zonas com reincidência elevada, os dados apontam para uma possível redução do fogo descontrolado, indicando avanços na gestão do território, provavelmente com uso de queimadas prescritas e ações preventivas coordenadas pelas brigadas indígenas.

Na Terra Indígena Bacurizinho, o mapa de frequência de fogo para o período de 2001 a 2023 revela um padrão caracterizado, em sua maioria, por baixa ocorrência de queimadas (Figura 8). A maior parte do território apresenta valores entre 1 e 6 ocorrências ao longo de 23 anos, como indicado pelos tons de verde predominantes. Essa distribuição aponta para uma dinâmica de fogo esporádica e pouco intensa na região.

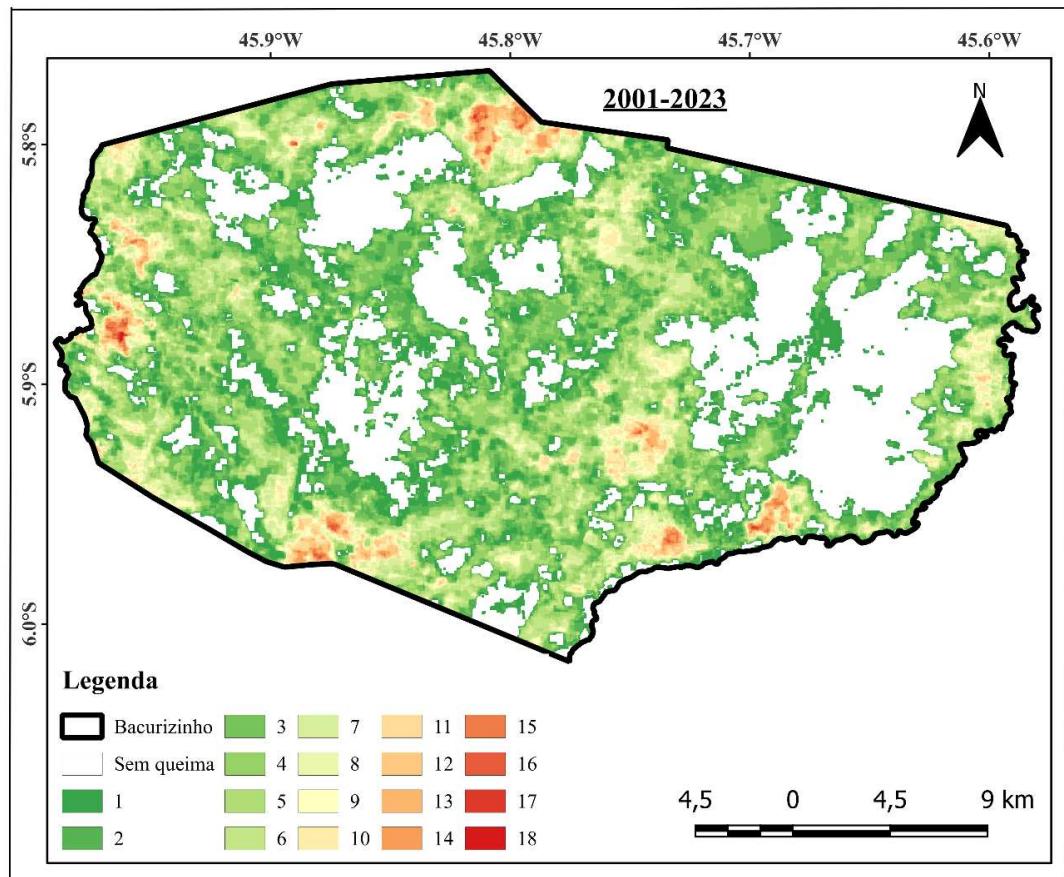


Figura 8 - Mapa de Frequência de Incêndios na Terra indígena de Bacurizinho (2001-2023).

Também é possível observar diversas áreas em branco, que correspondem a zonas sem nenhum registro de queima durante todo o período analisado, reforçando a presença de extensões do território que não foram atingidas por fogo nos últimos 23 anos.

Apesar da predominância de baixa frequência, há alguns pontos com tonalidades mais quentes, como amarelo, laranja e vermelho, indicando áreas que registraram entre 7 e 18 ocorrências. No entanto, esses focos aparecem de forma isolada e pontual, sem formar grandes manchas contínuas de alta frequência.

Esses resultados dialogam com estudos recentes que destacaram a forte correlação entre o aumento da fragmentação da vegetação nas Terras Indígenas do Maranhão e o crescimento das emissões de CO₂ associadas ao fogo. Essas emissões tendem a se concentrar justamente em áreas próximas a fronteiras agrícolas e rodovias, onde a pressão antrópica favorece a ignição e a propagação descontrolada das queimadas (Fernandes *et al.*, 2025).

Além disso, pesquisas indicam que as queimadas em terras indígenas do Maranhão frequentemente têm origem em práticas de uso do fogo para limpeza e renovação de pastagens, mas acabam se transformando em incêndios de grandes proporções devido à ausência de estratégias eficazes de controle (Baeta *et al.*, 2022).

Esse padrão reforça ainda o que já foi discutido por autores que apontam a necessidade de incorporar as especificidades territoriais das terras indígenas nos programas de manejo integrado do fogo, considerando tanto os saberes tradicionais quanto o contexto de pressões externas crescentes (Falleiro *et al.*, 2023).

5.5 Parque Nacional da Chapada das Mesas: Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2024).

Observa-se que, no período anterior à implementação do MIF (2001–2013), os valores de área queimada no PNCM oscilaram entre aproximadamente 400 km² e 800 km² por ano, com destaque para o ano de 2010, quando a área afetada ultrapassou 800 km² — o maior valor da série. Esse padrão reflete a ausência de um controle sistemático do fogo no parque durante esse período (Gráfico 1).

A partir de 2014, com a introdução do Manejo Integrado do Fogo, é possível observar uma tendência de redução nos extremos dos valores anuais. Embora ainda ocorram anos com valores superiores a 400 km², há queda significativa nos anos de 2017, 2018 e 2021, quando os valores ficaram abaixo de 250 km² — algo que não havia ocorrido no período anterior. Essa mudança indica o efeito positivo do MIF sobre o regime de fogo, reduzindo a intensidade e frequência das grandes queimadas, especialmente nos anos mais críticos.

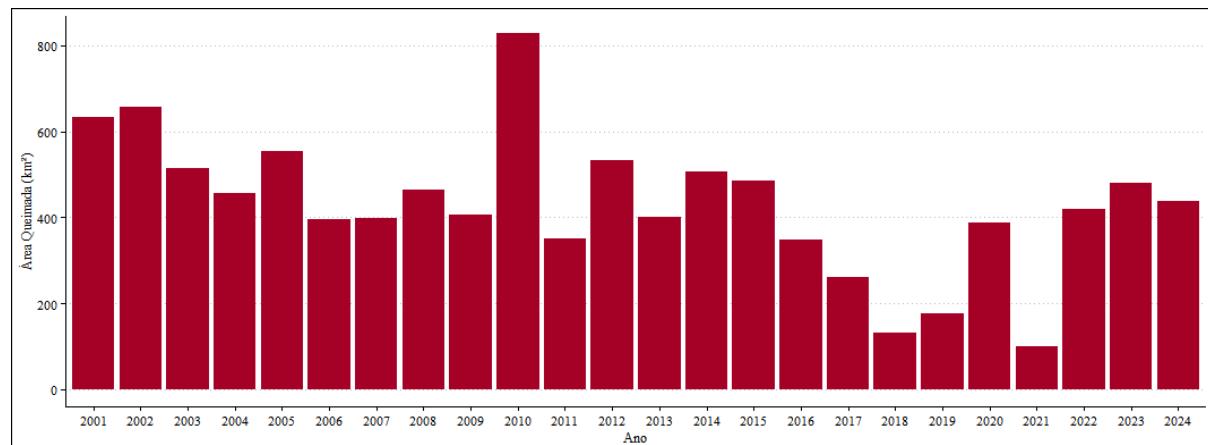


Gráfico 1 - Gráfico de comportamento anual da área queimada no PNCM ao longo dos anos de 2001 a 2024.

Observa-se uma comparação direta entre a área queimada e não queimada nos períodos pré-MIF (2001–2013) e pós-MIF (2014–2024). No primeiro intervalo, o total de área queimada foi de 1.309,9 km², enquanto a área não queimada somou apenas 308,9 km². Esse cenário evidencia a predominância do fogo no parque antes da adoção de práticas sistemáticas de manejo (Gráfico 2).

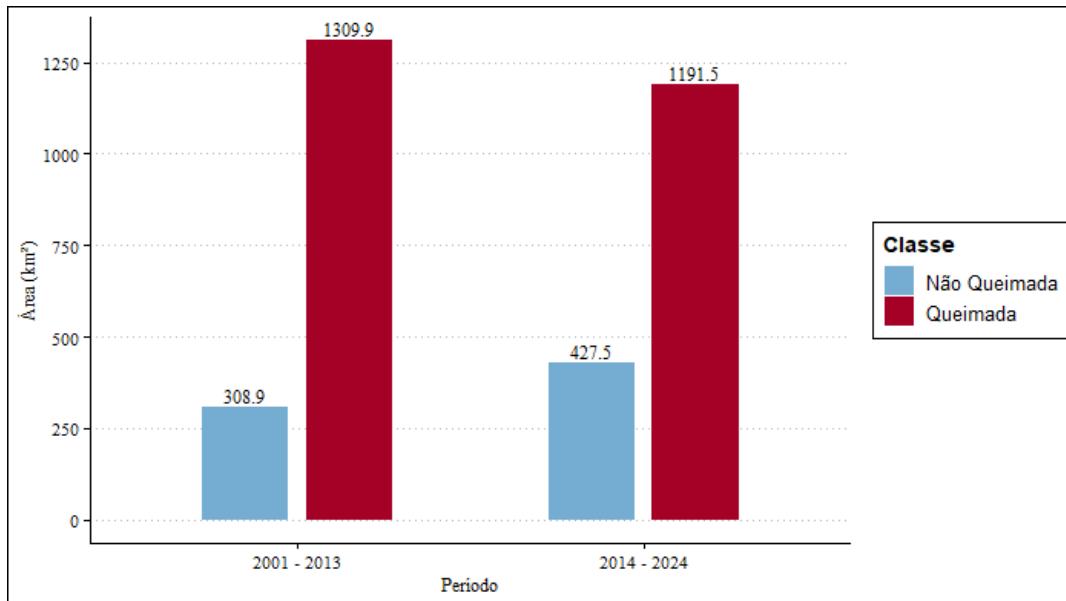


Gráfico 2 - Dinâmica do Fogo no Parque Nacional da Chapada das Mesas por Períodos (2001–2013 e 2014–2024).

Já no segundo período (2014–2024), embora a área queimada ainda permaneça elevada (1.191,5 km²), nota-se um aumento expressivo na área que permaneceu intacta, que subiu para 427,5 km². Essa mudança reforça o impacto positivo do MIF na gestão do território, proporcionando maior proteção a setores vulneráveis e aumentando a resiliência do parque às queimadas de larga escala.

Esses resultados corroboram estudos recentes que reforçam a eficácia do Manejo Integrado do Fogo (MIF) na mitigação de incêndios em áreas protegidas do Cerrado, principalmente quando alinhado ao envolvimento das comunidades locais e estratégias contínuas de monitoramento (Borges *et al.*, 2025). Essa abordagem é fundamental para adaptar as ações às realidades específicas de cada território, como no caso da TI Governador, onde o aumento pontual de queimadas foi atribuído ao período de ajuste das práticas de manejo (Borges *et al.*, 2025).

Além disso, estudos demonstram que o fogo, quando ocorre de maneira descontrolada, altera significativamente os ciclos fenológicos da vegetação do Cerrado, afetando diretamente processos como o crescimento e a regeneração natural das espécies (Carvalho *et al.*, 2024). Esse impacto compromete a resiliência dos ecossistemas e reforça a necessidade de políticas públicas estruturadas para a gestão do fogo (Carvalho *et al.*, 2024).

A literatura também aponta que o histórico de queimadas recorrentes tende a afetar de forma mais acentuada fitofisionomias abertas e campesinas, aumentando a vulnerabilidade dessas formações, especialmente em áreas localizadas próximas a fronteiras agrícolas e rodovias. Esse cenário evidencia a importância de ações articuladas entre órgãos ambientais,

comunidades e pesquisadores para a consolidação de estratégias eficazes de manejo (Falleiro *et al.*, 2023).

5.6 Parque Estadual do Mirador: Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2024).

A análise da área queimada anualmente no Parque Estadual do Mirador (PEM), no período de 2001 a 2024, revela uma dinâmica marcada por oscilações significativas e episódios de fogo de grandes proporções (Gráfico 3). Os anos de 2001, 2007, 2011 e especialmente 2012 se destacam com os maiores registros de área queimada, ultrapassando 2700 km² em 2012. Em contrapartida, anos como 2003, 2006, 2008, 2009, 2017 e 2021 apresentaram valores significativamente menores, com menos de 1500 km² queimados, sendo 2021 um dos anos com menor incidência. Observa-se, ao longo do período, uma ausência de tendência contínua de redução ou aumento das áreas queimadas, indicando uma gestão irregular ou ineficaz no controle de incêndios florestais. A partir de 2020, há uma leve estabilização nos valores, porém ainda com níveis elevados, oscilando entre 1400 e 2000 km².

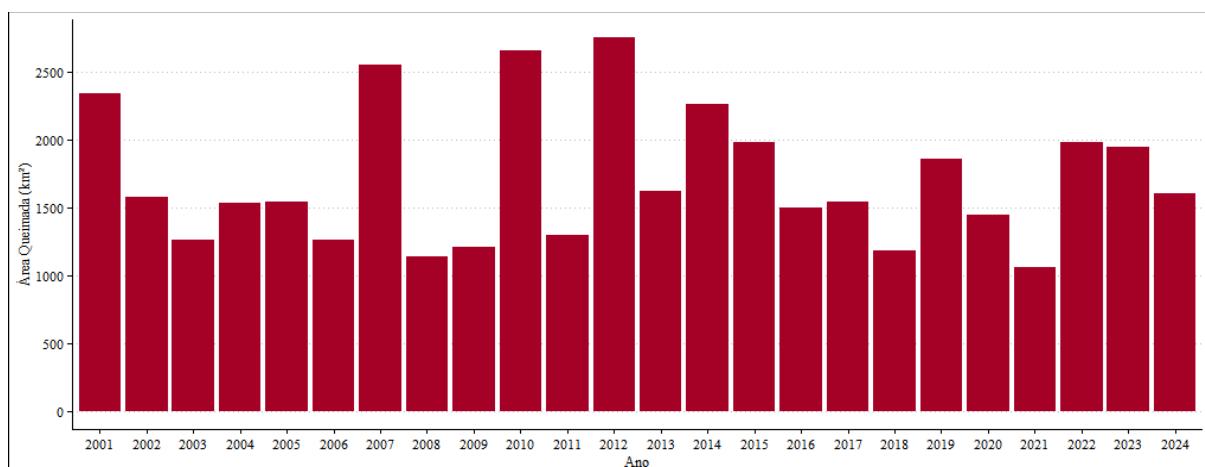


Gráfico 3 - Área Queimada Anualmente no Parque Estadual do Mirador (2001–2024).

Complementando essa análise, o gráfico comparativo entre os períodos de 2001 a 2008 e de 2009 a 2024, delimitados pela promulgação da Lei Estadual nº 8.579/2007 que redefiniu os limites do parque, evidencia um cenário preocupante. No primeiro intervalo, foram registrados 4438,4 km² de área queimada e 439,3 km² preservados. No segundo período, apesar da nova delimitação do parque, houve um aumento para 4799 km² de área queimada, enquanto a área não queimada caiu para apenas 165,5 km² (Gráfico 4).

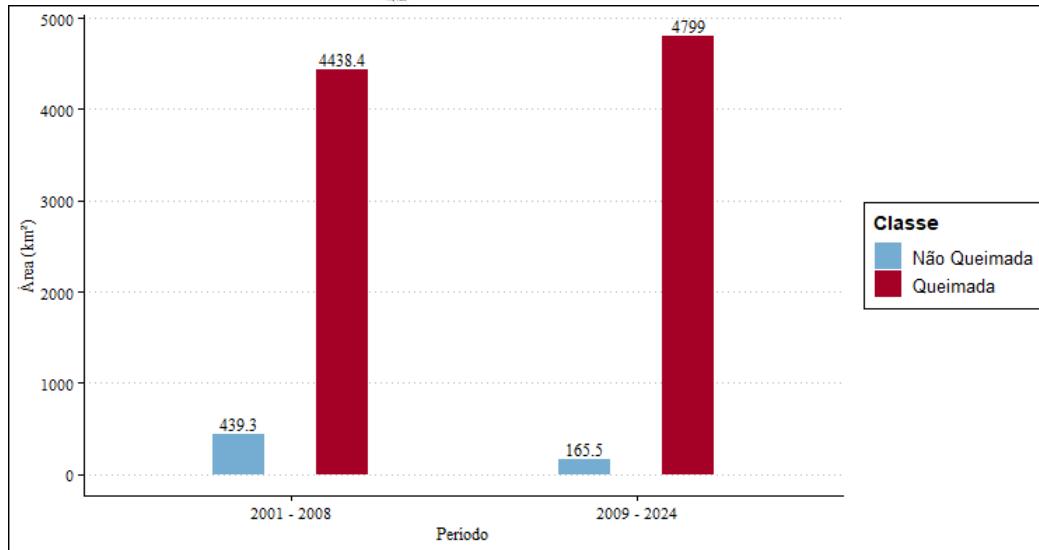


Gráfico 4 - Dinâmica do Fogo no Parque Estadual do Mirador por Períodos (2001–2008 e 2009–2024).

Esses dados demonstram que a alteração dos limites legais do parque não resultou em maior proteção ou redução das queimadas. Ao contrário, o aumento da área queimada e a drástica redução da vegetação preservada sugerem maior exposição do território ao fogo e reforçam a necessidade de políticas de conservação mais efetivas, como a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF). Dessa forma, os gráficos apresentados validam e complementam a interpretação dos mapas de área total, confirmando a pressão constante sofrida pelo PEM ao longo das últimas duas décadas.

A análise da porcentagem de área queimada nas Unidades de Conservação (Gráfico 5) evidencia padrões distintos nos regimes de fogo do Parque Estadual do Mirador (PEM) e do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM) ao longo do período de 2001 a 2024. O PEM apresentou maior frequência de queimadas, com vários anos superando 40% da área total queimada, especialmente entre 2007 e 2014, enquanto o PNCM, apesar de também registrar anos críticos, mostrou uma tendência de redução significativa na extensão queimada a partir de 2015. Essa diferença de comportamento está alinhada aos dados apresentados nos gráficos anteriores: no PEM, observa-se grande variação nas áreas queimadas anualmente (Gráfico 2), com aumento da pressão do fogo após a redefinição dos limites legais do parque (Gráfico 3).

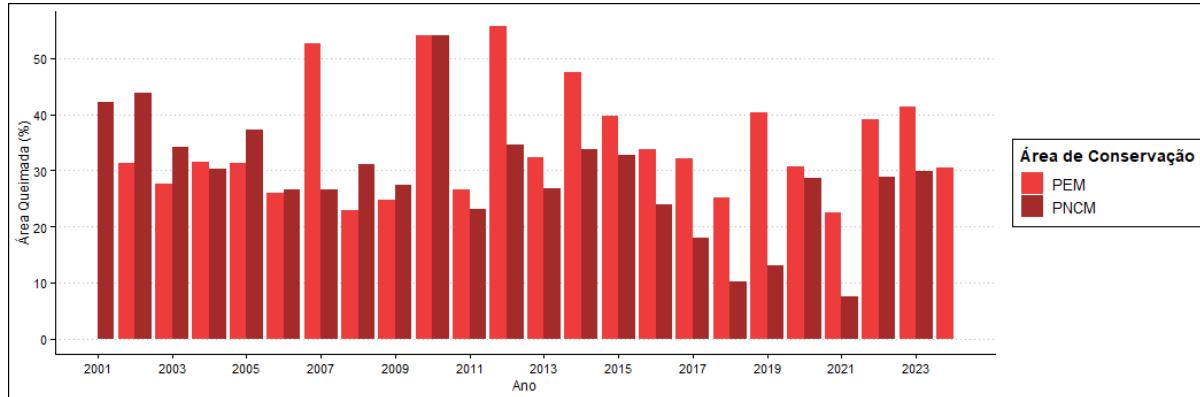


Gráfico 5 - Porcentagem de Área Queimada nas Unidades de Conservação (2001–2024).

Já no PNCM, conforme demonstrado em análises anteriores, há uma resposta mais positiva ao manejo e às estratégias de conservação adotadas, como o Manejo Integrado do Fogo. Os mapas utilizados ao longo do projeto confirmam essa tendência, destacando áreas críticas de reincidência no PEM e uma distribuição mais controlada dos focos no PNCM. Assim, o gráfico de porcentagem não apenas complementa, como também valida os padrões espaciais e temporais observados nos mapas temáticos e nos gráficos de área absoluta, reforçando a importância de políticas diferenciadas de gestão do fogo para cada unidade.

Esses resultados estão em consonância com estudos que descreveram a estrutura da vegetação lenhosa do cerrado sensu stricto no interior do PEM, evidenciando a presença de espécies adaptadas a ambientes sujeitos a eventos de fogo, como *Qualea parviflora* e *Byrsonima crassifolia* (Lacerda *et al.*, 2020). A pesquisa apontou ainda que as queimadas recorrentes, embora afetem principalmente os indivíduos de menor porte, não têm provocado alterações significativas na estrutura geral da vegetação, reforçando a ideia de resiliência ecológica dessas formações no contexto do Cerrado maranhense (Lacerda *et al.*, 2020).

Além disso, a literatura destaca que áreas preservadas, com vegetação contínua, apresentam menor vulnerabilidade à propagação de incêndios descontrolados, em comparação com áreas fragmentadas ou próximas a fronteiras agrícolas (Durigan; Ratter 2016). Essa situação é reforçada por estudos que analisaram a composição florística e a estrutura da vegetação arbórea, apontando que o PEM ainda mantém elevado grau de integridade ecológica, mesmo diante de pressões antrópicas nas bordas (Falleiro *et al.*, 2023).

Essas evidências indicam que a dinâmica do fogo no PEM tende a seguir um comportamento típico de áreas savânicas bem conservadas, com recorrência natural de queimadas, porém com menor intensidade e impacto sobre a estrutura ecológica geral, desde que sejam mantidas estratégias adequadas de manejo e conservação (Falleiro *et al.*, 2023).

5.7 Território Indígena de Governador: Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2023).

O gráfico anual da Terra Indígena Governador mostra que, entre os anos de 2001 e 2023, houve uma significativa variabilidade nas áreas queimadas. Os maiores picos de queima ocorreram nos anos de 2007, 2012, 2015 e 2016, todos ultrapassando a marca dos 160 km² queimados, com destaque para 2016, que apresentou a maior área queimada no período. Já os anos de 2002, 2013, 2018 e 2021 apresentaram os menores valores, com áreas queimadas inferiores a 40 km² (Gráfico 6).

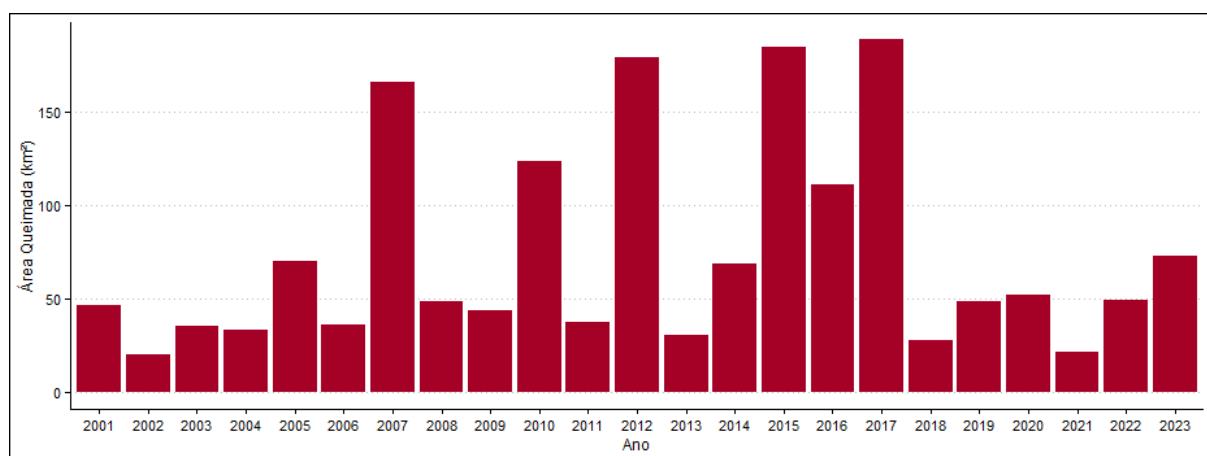


Gráfico 6 - Área Queimada Anualmente no Território Indígena de Governador (2001–2023).

Observa-se que, de maneira geral, há uma tendência de redução nas áreas queimadas a partir de 2018, com exceção do ano de 2023, que voltou a registrar um aumento expressivo. Essa oscilação pode estar relacionada tanto a fatores climáticos quanto à ausência de estratégias de manejo do fogo ou políticas de prevenção efetivas na região. A irregularidade no padrão de queimadas reforça a importância de se pensar políticas ambientais específicas para contextos territoriais indígenas, levando em conta a complexidade sociocultural dessas áreas.

O gráfico comparativo da TI Governador, dividido entre os períodos pré e pós-implementação do MIF, evidencia mudanças sutis, mas relevantes, no comportamento da área queimada (Gráfico 7). Entre os anos de 2001 e 2008, foram registrados 231,8 km² de área queimada e 166,8 km² de área não queimada. Já no período de 2009 a 2023, a área queimada aumentou para 263,9 km², enquanto a área não queimada caiu para 133,7 km².

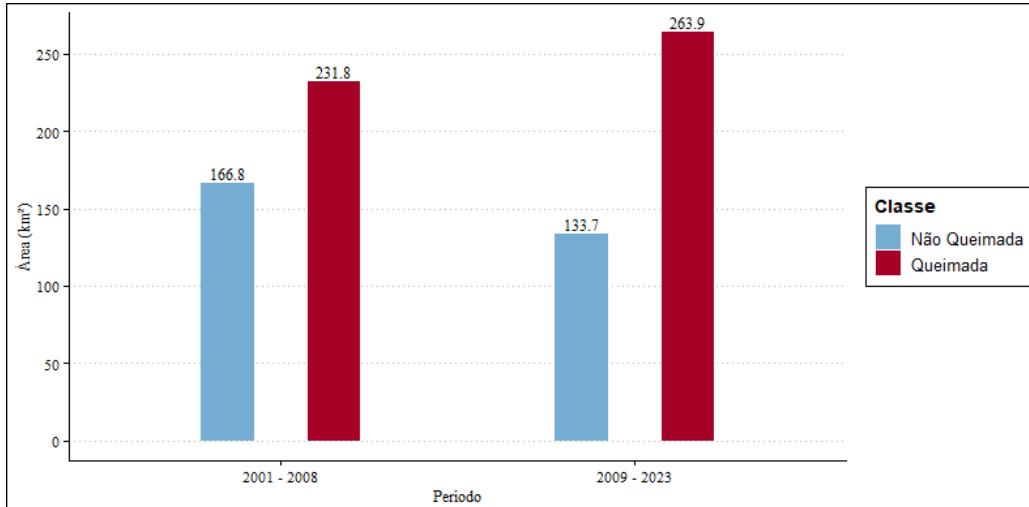


Gráfico 7 – Comparativo da área queimada e não queimada na Terra Indígena Governador entre os períodos de 2001–2008 e 2009–2023.

Embora o MIF tenha sido oficialmente implementado na TI Governador em 2013, a divisão por períodos anterior e posterior a 2008 permite observar que, mesmo com políticas de manejo em curso, ainda há uma predominância da área queimada sobre a não queimada. Essa diferença pode estar relacionada a desafios na consolidação do programa, como limitações operacionais, pressão de usos externos ou descontinuidade das ações de prevenção.

Apesar do aumento na área queimada após 2008, a presença do MIF pode ter atuado de forma localizada e preventiva em áreas mais sensíveis, o que explicaria uma estabilização relativa e a fragmentação dos focos observada nos mapas anteriores. Esse cenário destaca a necessidade de continuidade e fortalecimento das brigadas indígenas e das ações de manejo integrado como estratégias centrais para o controle do fogo em territórios tradicionais.

O padrão observado na TI Governador reforça o que vem sendo discutido na literatura sobre o papel da fragmentação da vegetação na intensificação dos incêndios em territórios indígenas. A ocupação irregular e a expansão de áreas de pastagem e agricultura tornam o ambiente mais suscetível à propagação do fogo, sobretudo nas porções próximas às áreas não protegidas (Carvalho *et al.*, 2023; Schmidt *et al.*, 2018). Esses processos, somados à ausência de ações de manejo estruturadas, ajudam a explicar a maior recorrência de queimadas descontroladas na área.

Além disso, estudos apontam que a implementação de estratégias de manejo do fogo em terras indígenas ainda enfrenta entraves relacionados à articulação entre comunidades locais e instituições responsáveis pela política ambiental, essa fragilidade institucional compromete a eficácia de programas como o Manejo Integrado do Fogo, especialmente em regiões onde pressões externas e conflitos fundiários se sobrepõem (Borges *et al.*, 2025).

Outro aspecto relevante é o impacto ecológico das queimadas frequentes em fitofisionomias abertas e campestres que sofrem degradação progressiva quando submetidas a incêndios sucessivos sem controle. No contexto da TI Governador, esse efeito pode resultar em alterações na composição da vegetação e na diminuição da capacidade de regeneração natural (Durigan; Ratter, 2016).

Desse modo, estudos destacam que a vulnerabilidade ao fogo em terras indígenas não está apenas relacionada ao uso do solo, mas também ao contexto socioeconômico das comunidades locais e ao nível de suporte oferecido por políticas públicas de conservação ambiental. Essa combinação de fatores torna essencial o fortalecimento de estratégias específicas de manejo, ajustadas à realidade de cada território (Falleiro *et al.*, 2023).

5.8 Território Indígena de Bacurizinho: Análise Temporal da Dinâmica do Fogo (2001–2023).

A análise da dinâmica de fogo na Terra Indígena Bacurizinho demonstra um padrão diferenciado em relação à TI Governador, especialmente pela ausência de ações de manejo formal como o Manejo Integrado do Fogo (MIF). Nota-se que a maioria dos anos apresentou áreas queimadas abaixo de 100 km², com exceção dos anos de 2007, 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017, sendo os dois últimos os mais críticos, ambos superando os 400 km² queimados (Gráfico 8). A partir de 2018, observa-se uma tendência de redução, com valores significativamente menores, embora em 2023 tenha ocorrido um novo aumento na área queimada.

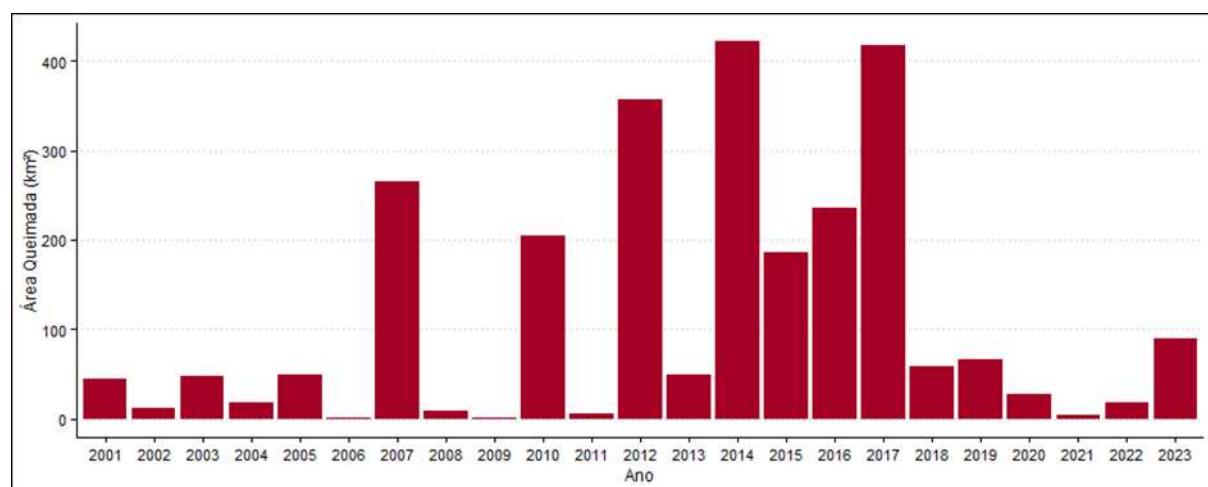


Gráfico 8 – Área queimada anualmente na Terra Indígena Bacurizinho (2001–2023).

Esse padrão sugere que, mesmo sem um programa estruturado de manejo, o território apresenta certa resiliência, provavelmente sustentada por fatores como menor pressão antrópica, características ambientais e o uso tradicional do fogo pelas comunidades locais. No entanto, os picos de queimadas em anos críticos evidenciam a vulnerabilidade da área diante de eventos climáticos extremos ou da ausência de estratégias preventivas.

O gráfico mostra a oscilação da área queimada ao longo dos anos, com destaque para os picos entre 2012 e 2017 e um novo aumento em 2023, indicando variações relacionadas a fatores climáticos e ausência de manejo preventivo.

Complementando a análise, a comparação entre as áreas queimadas e não queimadas em todo o período (Gráfico 9), ao todo, 584,7 km² foram atingidos por fogo entre 2001 e 2023, enquanto 212,7 km² não registraram ocorrências de queimadas. Isso revela que cerca de 73% da TI Bacurizinho foi impactada por incêndios em algum momento ao longo dos 23 anos analisados. Embora significativa, a existência de área sem ocorrência de fogo sugere que parte do território tem se mantido resistente à propagação do fogo, seja por barreiras naturais, fragmentação da vegetação, umidade local ou práticas tradicionais de uso do território.

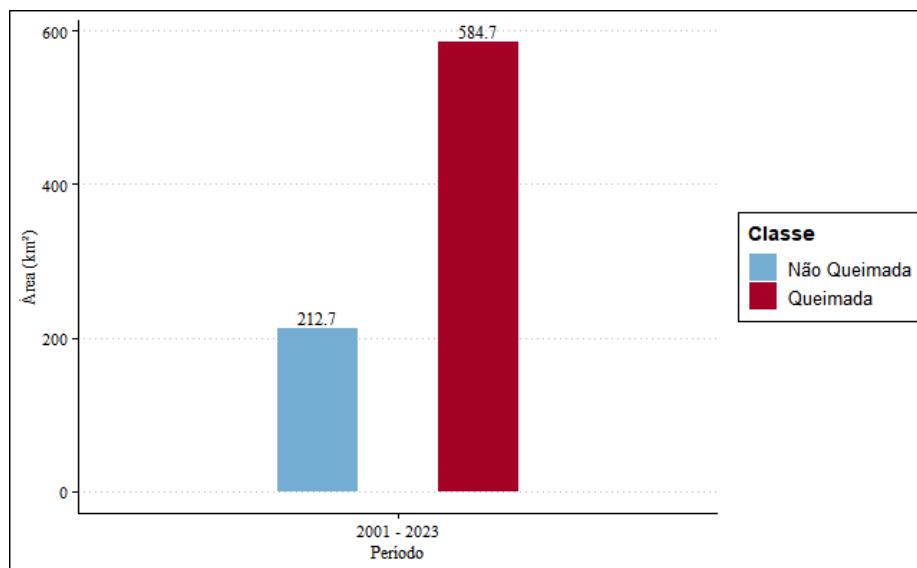


Gráfico 9 – Comparativo entre área queimada e não queimada na Terra Indígena Bacurizinho (2001–2023).

Na Terra Indígena Bacurizinho, que ainda não conta com implementação formal do MIF, observa-se uma maior variabilidade nas taxas de queima. Picos significativos ocorrem entre 2012 e 2017, com destaque para 2015 e 2016, anos em que mais de 50% da área foi afetada pelo fogo. Apesar desses extremos, a partir de 2018 há uma tendência de redução na porcentagem queimada, indicando uma possível resiliência ecológica ou o efeito de práticas tradicionais de uso do território (Gráfico 10).

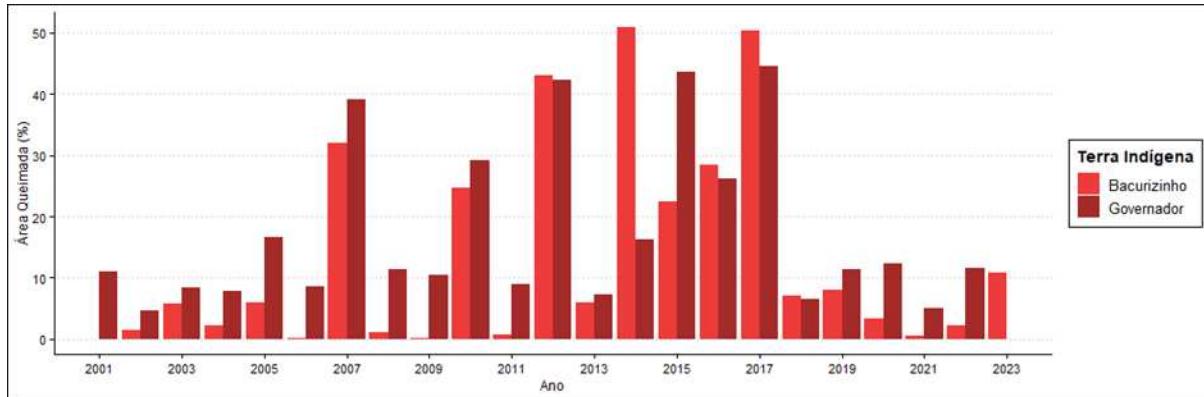


Gráfico 10 – Porcentagem de área queimada anualmente nas Terras Indígenas Bacurizinho e Governador (2001–2023).

Já na Terra Indígena Governador, onde o MIF começou a ser implementado em 2013, os dados revelam uma redução mais clara e consistente das áreas queimadas nos anos seguintes. Após picos expressivos em 2014, 2015 e 2016, observa-se queda acentuada nos índices, com os menores valores registrados entre 2018 e 2022. Isso reforça os indícios de que o MIF tem contribuído para estabilizar o regime de fogo no território, principalmente com a atuação das brigadas indígenas e estratégias preventivas.

O gráfico demonstra que a TI Bacurizinho, sem ações de MIF, apresenta maior instabilidade e picos de queima superiores a 50%. Já a TI Governador mostra tendência de redução após 2013, quando teve início a implementação do manejo integrado do fogo, validando os efeitos positivos dessa política na mitigação de incêndios florestais.

Os padrões de queimadas observados na TI Bacurizinho reforçam o que vem sendo discutido por diversos estudos sobre a complexidade do regime de fogo em terras indígenas do Cerrado. Assim como em outras áreas protegidas da região, a TI Bacurizinho apresenta alta recorrência de incêndios principalmente em suas bordas, o que se relaciona diretamente com a expansão de áreas agrícolas no entorno e o consequente aumento das pressões territoriais sobre o território indígena (Melo, 2021).

Essa situação evidencia um conflito claro entre o uso tradicional do fogo pelas comunidades indígenas e as práticas de queimadas associadas à atividade agropecuária externa. Estudos mostram que, quando não há integração entre o conhecimento tradicional e as estratégias institucionais de manejo, o resultado é um aumento da frequência e intensidade dos incêndios, com sérios impactos sobre a vegetação nativa e a segurança alimentar das comunidades locais (Espindola, 2020).

Além disso, é importante destacar que a fragmentação da cobertura vegetal e a proximidade de rodovias e áreas desmatadas elevam substancialmente a vulnerabilidade desses

territórios à propagação de queimadas, (Durigan; Ratter 2016). No caso específico da TI Bacurizinho, a ausência de um programa efetivo de Manejo Integrado do Fogo (MIF) aprofunda esse quadro de suscetível (Falleiro *et al.*, 2023).

Essas evidências reforçam a necessidade de implementação de ações de manejo participativo, fundamentadas em abordagens interculturais e sustentadas por políticas públicas específicas. A articulação entre o saber tradicional indígena e as ferramentas técnico-científicas de monitoramento tem sido indicada como caminho promissor para minimizar os impactos das queimadas e promover a conservação dos recursos naturais (Melo, 2021; Espindola, 2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da dinâmica espaço-temporal dos regimes de fogo nas áreas protegidas do Cerrado maranhense permitiu evidenciar diferenças significativas entre territórios com e sem a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF). Nos locais onde o MIF foi adotado, como o Parque Nacional da Chapada das Mesas e a Terra Indígena Governador, os dados indicaram tendência de redução na frequência e na intensidade das queimadas, sobretudo a partir de 2014. Os mapas e gráficos reforçam que essas áreas, apesar de ainda apresentarem episódios de fogo, passaram a registrar maior controle espacial e temporal sobre a ocorrência dos incêndios, refletindo os efeitos positivos do manejo ativo, com destaque para a atuação de brigadas indígenas e uso de queimadas prescritas.

Por outro lado, nas áreas sem implementação do MIF, como o Parque Estadual de Mirador e a Terra Indígena Bacurizinho, foi observada uma maior variação nos regimes de queima. No caso do PEM, a recorrência elevada das queimadas ao longo de todo o período analisado aponta para a ausência de estratégias efetivas de prevenção. Já na TI Bacurizinho, embora o padrão de queima tenha se mantido baixo, a falta de ações formais de manejo torna a área vulnerável a eventos extremos, como aqueles registrados entre 2012 e 2017.

Além disso, a relação entre os tipos de vegetação e a frequência de fogo mostrou-se um fator relevante para compreender a dinâmica das queimadas. As áreas com maior fragmentação ou presença de usos antrópicos apresentaram maior reincidência de fogo, enquanto aquelas com cobertura vegetal mais conservada, como florestas e cerrados densos, demonstraram maior resiliência ao fogo.

Dessa forma, os objetivos propostos neste trabalho foram plenamente atingidos. Foi possível reconstruir o histórico do fogo nas áreas analisadas, identificar a distribuição espacial e temporal das queimadas, mapear os tipos de vegetação e relacioná-los ao regime de fogo, bem como comparar as diferenças entre áreas com e sem manejo ativo. Os resultados aqui apresentados fornecem subsídios técnicos relevantes para o aprimoramento das políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao manejo adaptativo do fogo, especialmente no contexto dos ecossistemas savânicos do Cerrado maranhense.

REFERÊNCIAS

- ARCHIBALD, S. et al. **Defining pyromes and global syndromes of fire regimes.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 110, n. 16, p. 6442–6447, 16 abr. 2013.
- BATISTA, C. S. “A gente dormiu travessia e acordou parque do Mirador”: **resistências e conflitos socioespaciais em uma região de expansão de soja nas chapadas do Cerrado sul do Maranhão.** 2021. 106 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.
- BALÉ, M. et al. **Indigenous knowledge and forest succession management in the Xingu Indigenous Territory, Brazil.** *Frontiers in Forests and Global Change*, 2021, 4:605925. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.605925/full>
- BORGES, D. C. et al. ANÁLISE DA DINÂMICA DO REGIME DE FOGO EM ÁREAS PROTEGIDAS NO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL: **UMA AVALIAÇÃO DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO.** In: ANAIS DO XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2025, Salvador. Anais eletrônicos..., Galoá, 2025. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2025/trabalhos/analise-da-dinamica-do-regime-de-fogo-em-areas-protegidas-no-estado-do-maranhao?lang=pt-br>> Acesso em: 12 jun. 2025.
- BOND, William J.; KEELEY, Jon E. Fire as a global ‘herbivore’: **the ecology and evolution of flammable ecosystems.** Trends in ecology & evolution, v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005.
- BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. **Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 1 ago. 2024.
- CARVALHO, L. C.; FALLEIRO, R. M. **Guia Prático para Elaboração de Plano de Manejo Integrado do Fogo em Comunidades Rurais e Tradicionais.** Brasília: ISPNE, 2023. Disponível em: <https://ispn.org.br/site/wp-content/uploads/2023/09/GUIA-PRATICO-PMIF.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- CARVALHO, Izadora Santos de. **As relações vegetação-fogo-clima nos ecossistemas savânicos do Parque Nacional da Chapada das Mesas.** 2024. 144 f. Tese (Doutorado em Agroecologia) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2024.
- DE CARVALHO, Izadora Santos *et al.* Relações entre incidência de queimadas e a dinâmica da vegetação no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão-Brasil: **Uma abordagem a partir de métricas fenológicas derivadas de Sensoriamento Remoto.** Revista Geográfica Acadêmica, v. 18, n. 2, p. 19-41, 2024.
- DE CARVALHO, I. S. et al. **How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado?** Journal for Nature Conservation, v. 71, p. 126318, 2023.
- DE CARVALHO, I. S.; ALVARADO, S. T.; FERRAZ, T. M. **Burned Area Chapada das Mesas National Park.** (Versão 01) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10289082>. 2023.

CARVALHO, Izadora Santos De et al. Caracterização das condições da vegetação combustível em áreas com diferentes históricos de fogo no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão - Brasil. In: Anais do Simpósio Internacional Selper: Além do dossel – Tecnologias e Aplicações de Sensoriamento Remoto. Anais...Belém(PA) UFPA, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xxi-selper-2024/880668-CARACTERIZACAO-DAS-CONDICOES-DA-VEGETACAO-COMBUSTIVEL-EM-AREAS-COM-DIFERENTES-HISTORICOS-DE-FOGO-NO-PARQUE-NACION>. Acesso em: 25/04/2025

DURIGAN, S. Fogo no cerrado: **Manejo e efeitos sobre a biodiversidade.** *Floresta*, v. 32, n. 1, p. 89-96, 2002.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. **The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation.** *Journal of Applied Ecology*, v. 53, n. 1, p. 11–15, fev. 2016.

EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil.** *The Botanical Review*, v. 3, n. 2, p. 201-341. 1972.

ESPINDOLA, G. M. Abordagem intercultural para o Manejo Integrado do Fogo em terras indígenas no Maranhão. 2021.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Fire management: **global assessment 2006.** FAO Forestry Paper, n. 151, Rome, 2006.

FALLEIRO, R. M.; SANTANA, M. T.; BERNI, C. R. **As contribuições do manejo integrado do fogo para o controle dos incêndios florestais nas terras indígenas do Brasil.** *Biodiversidade Brasileira – BioBrasil*, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343127584_As_Contribuicoes_do_Manejo_Integrado_do_Fogo_para_o_Controle_dos_Incendios_Florestais_nas_Terras_Indigenas_do_Brasil.

FALLEIRO, R. M.; CARVALHO, L. C.; GOMES, A. C. P. **Guia prático para elaboração de plano de manejo integrado do fogo em comunidades rurais e tradicionais.** Instituto Socioambiental (ISA). 2023. Disponível em: <https://ispn.org.br/site/wp-content/uploads/2023/09/GUIA-PRATICO-PMIF.pdf>

FERNANDES, H. G. P. et al. DESMATAMENTO E FOGO COMO VETORES DE EMISSÕES DE CO₂ NAS TERRAS INDÍGENAS DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL. In: ANAIS DO XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2025, Salvador. *Anais eletrônicos...*, Galoá, 2025. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2025/trabalhos/desmatamento-e-fogo-como-vetores-de-emissoes-de-co2-nas-terras-indigenas-do-esta?lang=pt-br>>. Acesso em: 12 Jun. 2025.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: **Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017.

HOFFMANN, W. A. et al. Ecological thresholds at the savanna–forest boundary: **How plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes.** *Ecology Letters*, v. 15, n. 7, p. 759-768, 2012.

ICMBio. Presidente Lula sanciona Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2024.

Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/presidente-lula-sanciona-politica-nacional-de-manejo-integrado-do-fogo>. Acesso em: 11 mar. 2025.

ICMBio. Programa de Manejo Integrado do Fogo. Brasília: ICMBio, 2019.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. **Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado.** *Journal of Ecology*, v. 82, n. 3, p. 519-531, 1994.

LACERDA, D. M. A. et al. Análise estrutural da vegetação lenhosa de cerrado sensu stricto no Parque Estadual do Mirador, Maranhão, Brasil. **Biodiversidade do Meio Norte do Brasil: conhecimentos ecológicos e aplicações, 1ed.** Curitiba: Editora CRV, v. 3, p. 29-48, 2020.

LEHMANN, C. E. R. et al. **Savanna Vegetation-Fire-Climate Relationships Differ Among Continents.** *Science*, v. 343, n. 6170, p. 548–552, 31 jan. 2014.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiom – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MAPBIOMAS. Coleção 3.0 das Cicatrizes de Queimadas do MapBiom Fogo. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/metodologias>.

MCTI. Estratégia Nacional para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa por Desmatamento e Queimadas (REDD+). Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2020.

MELO, P. H. S. **REGIME DE FOGO NAS TERRAS INDÍGENAS DO CERRADO MARANHENSE.** 2022.

MIRANDA, H. S. BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The Fire Factor. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. *The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a Neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002. p. 51-68.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Departamento de Áreas Protegidas - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/powerbi>. Acesso em: 06 mai. 2024.

MYERS, N. et al. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–858, fev. 2000.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Available at: <http://qgis.osgeo.org>, 2023.

VIENNA, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2023

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: **Past and present.** *Fire Ecology*, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011.

RESENDE, F. M. et al. **The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado.** *Ecosystem Services*, v. 49, p. 101282, jun. 2021.

RIBEIRO, J.F., Walter, B.M.T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado.** In: Cerrado: ecologia e flora (S.M. SANO, S.P. ALMEIDA & J.F. RIBEIRO, eds.). Embrapa Cerrados, Planaltina. p.151-212. 2008.

SANO, E. E. et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, jul. 2010.

SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. **Tree-Grass Interactions in Savannas.** 1997. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 28, n.1, p. 517-544, 1997.

SCHMIDT, I. B. et al. Fire management in the Brazilian savanna: **First steps and the way forward.** *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018.

SCHMIDT, I. B.; FIGUEIRA, J. E. C.; SAMPAIO, A. B.; FERREIRA, M. C.; DIAS, P. A. **Manejo integrado do fogo.** Biodiversidade Brasileira – BioBrasil, v. 8, n. 1, p. 108-121, 2018. Disponível em:
<https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/1185>. Acesso em: 11 mar. 2025.

SILVA, J. R. et al. **Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2020.

WICKHAM, H. FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation.** R package version 1.1.4, Disponível em:
<<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>. 2023.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.** Springer-Verlag, New York, 2016.