

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



Helen Giovanna Pereira Fernandes

**DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUAS
RELAÇÕES COM O FOGO EM TERRAS INDÍGENAS DO ESTADO DO
MARANHÃO (1985-2023)**

São Luís - MA

2026

Helen Giovanna Pereira Fernandes

**DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUAS
RELAÇÕES COM O FOGO EM TERRAS INDÍGENAS DO ESTADO DO
MARANHÃO (1985-2023)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia-PPGGEO da Universidade Federal do Maranhão-UFMA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Dr. Taíssa Caroline Silva Rodrigues

Coorientador: Dr. Celso Henrique Leite Silva-Junior

São Luís - MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Pereira Fernandes, Helen Giovanna.

DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUAS
RELAÇÕES COM O FOGO EM TERRAS INDÍGENAS DO ESTADO DO
MARANHÃO 1985-2023 / Helen Giovanna Pereira Fernandes. -
2026.

75 f.

Coorientador(a) 1: Celso Henrique Leite Silva-junior.

Orientador(a): Taíssa Caroline Silva Rodrigues.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Geografia, Universidade Federal do Maranhão, Universidade
Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Emissões de Gases de
Efeito Estufa. 3. Desmatamento. 4. Incêndios Florestais.
5. Conflitos Territoriais. I. Leite Silva-junior, Celso
Henrique. II. Silva Rodrigues, Taíssa Caroline. III.

Helen Giovanna Pereira Fernandes

**DINÂMICA TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E SUAS
RELAÇÕES COM O FOGO EM TERRAS INDÍGENAS DO ESTADO DO
MARANHÃO (1985-2023)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Geografia-PPGGEO da Universidade Federal do
Maranhão-UFMA, como requisito para obtenção do
título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 26 / 01/ 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Taíssa Caroline Silva Rodrigues (Orientadora)
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL)

Prof. Dr. Celso Henrique Leite Silva-Junior (Co-orientador)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Ulisses Denache Vieira Souza
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Maycon Henrique Franzoi de Melo
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

À Maria de Jesus e ao Manoel, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus.

Agradeço à minha família, em especial a Maria de Jesus, Manoel e Maria Vanusa, pelo incentivo e apoio em todas as minhas escolhas.

Agradeço também ao meu noivo Felipe, pelo carinho, paciência e companheirismo ao longo dessa trajetória, sendo presença constante e fundamental nos momentos de desafio e de conquista.

Minha profunda gratidão à minha orientadora, professora Taíssa, que me acompanhou desde a graduação e seguiu ao meu lado durante todo o mestrado. Foi ainda na graduação, ao me apresentar o sensoriamento remoto, que despertou em mim novas formas de olhar o território e a pesquisa, incentivando-me a ir além e a sonhar mais longe na vida acadêmica.

Ao longo desses anos, sua orientação foi decisiva para a construção deste trabalho e para escolhas fundamentais da minha formação acadêmica. Sou muito grata pela confiança, pelo cuidado e, especialmente, pela amizade que construímos ao longo dessa trajetória, que tornou esse percurso mais humano.

Agradeço grandemente ao professor Celso, meu coorientador, por nunca me permitir desistir de uma análise, por mais complexa que ela parecesse inicialmente. Seu incentivo constante para seguir adiante, mesmo quando os resultados não saíam como o esperado, foi fundamental para o amadurecimento científico deste trabalho.

O cuidado, a atenção e a disponibilidade demonstrados nos momentos mais desafiadores foram decisivos para que eu não desanimasse e seguisse com confiança. Seu incentivo ultrapassou a etapa do mestrado, estendendo-se também às próximas fases da minha trajetória acadêmica, contribuindo para que eu enfrente os desafios com mais segurança e persistência.

Registro um agradecimento especial ao professor Ronaldo Sodré, grande incentivador da minha pesquisa desde o início. Seu estímulo e confiança foram fundamentais nos momentos iniciais desta trajetória.

Agradeço ao professor Márcio Celeri, pelo carinho, atenção e apoio ao longo do percurso acadêmico, atitudes que fizeram grande diferença durante o mestrado.

De forma muito especial, deixo registrada minha alegria e gratidão por ter tido a oportunidade de ser aluna do professor Antônio Cordeiro Feitosa, uma referência na Geografia. As aulas ministradas por ele foram marcantes, inspiradoras e deixaram contribuições que levarei para além da formação acadêmica.

Aos meus companheiros de mestrado, Yanca e Lourenço, agradeço pela parceria, pelas trocas de conhecimento e pelos momentos compartilhados, que tornaram essa jornada mais leve.

Agradeço à Luciana que, com generosidade e cuidado, contribuiu para que eu pudesse retornar para casa com tranquilidade e segurança após os dias de aula. Em uma cidade nova e ainda pouco conhecida por mim, sua atitude foi fundamental para que eu me sentisse amparada ao longo dessa etapa do mestrado.

Por fim, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pela concessão da bolsa de mestrado, fundamental para a realização desta pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processos 304664/2024-3, 400634/2024-4 e 401741/2023-0). Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

“Quando o fogo é assim tão poderoso, vira um outro ser, muito perigoso, que se apropria de todas as árvores à sua volta para construir sua casa.”

Davi Kopenawa, em *A Queda do Céu*, 2014

RESUMO

As Terras Indígenas desempenham papel estratégico na conservação ambiental e na manutenção da sociobiodiversidade, especialmente em regiões de transição ecológica submetidas a intensas pressões antrópicas. Inserido nesse contexto, o estado do Maranhão localiza-se entre os biomas Amazônia e Cerrado e integra a fronteira agrícola do MATOPIBA, onde a expansão agropecuária, o desmatamento e o uso intensivo do fogo têm provocado profundas transformações no uso e na cobertura da terra. Diante desse cenário, esta dissertação tem como objetivo analisar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra e suas relações com o fogo nas Terras Indígenas do estado do Maranhão, no período de 1985 a 2023. A pesquisa integrou técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial no ambiente Google Earth Engine, utilizando séries históricas do MapBiomas (Coleção 9), MapBiomas Fogo (Coleção 3) e dados de desmatamento do PRODES/INPE. Foram analisadas as classes de formações florestais e savânicas, a recorrência do fogo, os anos críticos de perda de vegetação e de áreas queimadas, bem como estimadas as emissões de gases de efeito estufa associadas ao desmatamento e aos incêndios florestais, com base nas diretrizes do IPCC e no Nível Nacional de Referência de Emissões Florestais (FREL). Complementarmente, incorporaram-se dados sobre conflitos territoriais e violência contra os povos indígenas, obtidos a partir dos relatórios do Conselho Indigenista Missionário (CIMI). Os resultados indicam que, embora as Terras Indígenas tenham mantido extensos remanescentes de vegetação nativa ao longo da série histórica, ocorreram perdas significativas associadas sobretudo às pressões externas. No período analisado, as Terras Indígenas perderam 185.327 hectares de vegetação nativa, dos quais 66,9% corresponderam a formações florestais e 33,1% a formações savânicas; ainda assim, esses territórios mantiveram 2.028.755 hectares de vegetação nativa em 2023, sendo 81,2% classificados como formações florestais. A recorrência do fogo apresentou padrões espacialmente concentrados, atingindo até 37 eventos por pixel ao longo da série histórica, com destaque para Terras Indígenas como Araribóia, Kanela e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra, e intensificação durante eventos climáticos extremos, como o El Niño de 2015–2016, período em que a Terra Indígena Araribóia registrou aproximadamente 200.652 hectares queimados, correspondendo a cerca de 48,5% de seu território. As estimativas de emissões revelaram que o fogo respondeu pela maior parcela das emissões de gases de efeito estufa, superando aquelas oriundas do desmatamento direto; entre 2013 e 2023, as emissões totais associadas ao fogo e ao desmatamento alcançaram aproximadamente 709 Mt CO₂eq, sendo cerca de 85% provenientes do fogo e 15% do desmatamento. A análise integrada evidencia a relação entre degradação ambiental, conflitos socioterritoriais e fragilização da governança territorial. Conclui-se que a proteção das Terras Indígenas no Maranhão transcende a conservação ambiental, sendo indissociável da garantia dos direitos territoriais e da valorização dos conhecimentos tradicionais, especialmente no contexto do Manejo Integrado do Fogo. Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas que articulem monitoramento ambiental contínuo, governança territorial e estratégias integradas de gestão como meios para a mitigação do desmatamento, dos incêndios florestais e das emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Emissões de gases de efeito estufa; Desmatamento; Incêndios Florestais; Conflitos Territoriais.

ABSTRACT

Indigenous Territories play a strategic role in environmental conservation and in maintaining socio-biodiversity, particularly in ecological transition zones subjected to intense anthropogenic pressures. Within this context, the state of Maranhão, located between the Amazon and Cerrado biomes, is part of the MATOPIBA agricultural frontier, where the expansion of agribusiness, deforestation, and the intensive use of fire have driven profound transformations in land use and land cover. Against this background, this dissertation aims to analyze the temporal dynamics of land use and land cover and their relationships with fire in Indigenous Territories in the state of Maranhão, Brazil, over the period from 1985 to 2023. The study integrates remote sensing techniques, geoprocessing, and spatial analysis within the Google Earth Engine platform, using historical datasets from MapBiomas (Collection 9), MapBiomas Fire (Collection 3), and deforestation data from PRODES/INPE. The analysis focused on forest and savanna formations, fire recurrence, critical years of vegetation loss and burned area, as well as the estimation of greenhouse gas emissions associated with deforestation and wildfires, based on IPCC guidelines and the Brazilian Forest Reference Emission Level (FREL). Additionally, data on territorial conflicts and violence against Indigenous peoples were incorporated, based on reports from the Indigenous Missionary Council (CIMI). The results indicate that, although Indigenous Territories have maintained extensive areas of native vegetation throughout the historical series, significant losses have occurred, primarily associated with external pressures. Over the study period, Indigenous Territories lost 185,327 hectares of native vegetation, of which 66.9% corresponded to forest formations and 33.1% to savanna formations. Nevertheless, these territories still retained 2,028,755 hectares of native vegetation in 2023, with 81.2% classified as forest formations. Fire recurrence exhibited spatially concentrated patterns, reaching up to 37 events per pixel over the time series. Higher recurrence levels were observed in territories such as Araribóia, Kanela, and Porquinhos dos Canela-Apãnjekra, with intensification during extreme climatic events such as the 2015–2016 El Niño. During this period, the Araribóia Indigenous Territory recorded approximately 200,652 hectares burned, corresponding to about 48.5% of its total area. Emission estimates revealed that fire accounted for the majority of greenhouse gas emissions, surpassing those resulting from direct deforestation. Between 2013 and 2023, total emissions associated with fire and deforestation reached approximately 709 Mt CO₂eq, with around 85% attributed to fire and 15% to deforestation. The integrated analysis highlights the relationship between environmental degradation, socio-territorial conflicts, and the weakening of territorial governance. It is concluded that the protection of Indigenous Territories in Maranhão goes beyond environmental conservation and is inseparable from the enforcement of territorial rights and the recognition of traditional knowledge, particularly in the context of Integrated Fire Management. These findings underscore the need for public policies that integrate continuous environmental monitoring, territorial governance, and coordinated management strategies as key mechanisms for mitigating deforestation, wildfires, and greenhouse gas emissions.

Keywords: Remote sensing; Greenhouse gas emissions; Deforestation; Forest fires; Territorial conflicts.

LISTA DE SIGLAS

- AGB** – Biomassa Acima do Solo
- AGC** – Carbono Acima do Solo
- APIB** – Articulação dos Povos Indígenas do Brasil
- BGB** – Biomassa Abaixo do Solo
- CIDH** – Comissão Interamericana de Direitos Humanos
- CH₄** – Metano
- CIMI** – Conselho Indigenista Missionário
- CO₂** – Dióxido de Carbono
- CO₂eq** – Dióxido de Carbono Equivalente
- CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CTI** – Centro de Trabalho Indigenista
- DW** – Madeira Morta (*Dead Wood*)
- ED** – Emissões por Desmatamento
- EFF** – Emissões por Fogo Florestal
- FREL** – Nível Nacional de Referência de Emissões Florestais
- FUNAI** – Fundação Nacional dos Povos Indígenas
- GEE** – Google Earth Engine
- GHG** – Gases de Efeito Estufa (*Greenhouse Gases*)
- GWP** – Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential*)
- IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IMESC** – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPAM** – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
- IPCC** – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- ISA** – Instituto Socioambiental
- ISPN** – Instituto Sociedade, População e Natureza
- LI** – Serapilheira (*Litter*)
- MA** – Maranhão
- MATOPIBA** – Região formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
- MIF** – Manejo Integrado do Fogo
- MPF** – Ministério Público Federal

N₂O – Óxido Nitroso

OHCHR – Alto Comissariado das Nações Unidas para os Direitos Humanos

ONG – Organização Não Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

PPCDQ-MA – Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Maranhão

PNAS – *Proceedings of the National Academy of Sciences*

PNGATI – Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas

PNMIF – Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo

PRODES – Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

REDD+ – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TI – Terra Indígena

TIs – Terras Indígenas

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização das terras indígenas do Maranhão	18
Figura 2. Fluxograma Metodológico.....	21
Figura 3. Técnica de manejo do fogo “barrida”	29
Figura 4. Marcha do acampamento Terra Livre “Nosso Marco é Ancestral: Sempre Estivemos Aqui!”	32
Figura 5. Figura 1. Mapa de localização das terras indígenas do Maranhão.....	41
Figura 6. Figura 2. Fluxo metodológico para o cálculo das emissões de CO ₂ a partir da biomassa acima do solo (AGB; aplicado aos demais compartimentos), em função de distúrbios florestais.....	44
Figura 7. Figura 3. Mapa de recorrência de fogo nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão.	47
Figura 8. Figura 4. Anos críticos de áreas queimadas nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil (1985–2023). A cor vermelha representa a área total queimada entre 1985 e 2023.....	51
Figura 9. Figura 5. Área total anual queimada em formações florestais e savânicas nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil, no período de 1985 a 2023	53
Figura 10. Figura 6. (a) Perda total de vegetação (florestal e savânica) em cada Terra Indígena do Maranhão entre 1985 e 2023. O gráfico destaca a distribuição espacial das perdas acumuladas, identificando os territórios mais afetados e indicando a magnitude da supressão vegetal ao longo do período analisado.	55
Figura 11. Figura 7. Perda anual de formações florestais e savânicas por Terra Indígena no Maranhão, Brasil (1985–2023).....	57
Figura 12. Figura 8. Remanescentes florestais (ha) nas Terras Indígenas do Maranhão em 2023.	58
Figura 13. Figura 9. Emissões de CO ₂ por hectare nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil, no período de 2013–2023.	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 METODOLOGIA.....	18
2.1 Caracterização da Área de Estudo	18
2.2 Procedimentos Metodológicos.....	21
2.3 Identificação dos anos críticos de fogo e quantificação de áreas queimadas	22
2.4 Derivação de máscaras de vegetação estável.....	22
2.5 Identificação dos anos críticos perda de vegetação e quantificação de áreas	23
2.6 Estimativas de emissões de CO ₂	23
2.7 Conflitos e violência contra os povos indígenas.....	26
3 CAPÍTULO I.....	26
3.1 O histórico do uso do fogo no Maranhão	26
3.2 Resistência Indígena, Políticas Territoriais e os Guardiões da Floresta	30
4 CAPÍTULO II.....	34
4.1 Sensoriamento Remoto	34
5 CAPÍTULO III	37
Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra e sua Associação com o Fogo em Terras Indígenas do Maranhão, Brasil (1985–2023).....	38
1. Introdução.....	39
2.1. Área de Estudo.....	41
2.2. Fontes de Dados e Período de Análise.....	42
2.3. Ambiente Computacional, Projeções e Pré-processamento.....	42
2.4. Recorrência do Fogo sobre Vegetação Estável.....	43
2.5. Anos Críticos de Fogo e Quantificação das Áreas Queimadas	43
2.6. Trajetórias da Vegetação Natural e Anos Críticos de Perda Líquida	43
2.7. Estimativas de Emissões de CO ₂ Provenientes do Desmatamento e do Fogo.....	44
3. Resultados e Discussão.....	46
3.1. Recorrência do Fogo nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão (1985–2023).....	47
3.2. Mapeamento dos Anos de Pico da Área Queimada nas Terras Indígenas do Maranhão (1985–2023).....	50
3.3. Dinâmica da cobertura vegetal no Maranhão e impactos nos territórios indígenas (1985–2023).....	55
3.4. Emissões de CO ₂ nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão (2013–2023).....	58
4. Conclusão	61
Referências	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS:.....	74

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta dissertação está estruturada em três capítulos, além da introdução e da metodologia. O Capítulo I aborda o histórico do uso do fogo no estado do Maranhão. O Capítulo II apresenta os fundamentos do sensoriamento remoto que subsidiam as análises desenvolvidas ao longo do trabalho. O Capítulo III corresponde aos resultados diretos desta dissertação, publicados no artigo científico intitulado “*Land Use and Land Cover Dynamics and Their Association with Fire in Indigenous Territories of Maranhão, Brazil (1985–2023)*”, na revista *Land*, em 9 de janeiro de 2026.

Por se tratar de um artigo publicado, este capítulo foi incorporado integralmente à dissertação no layout original da revista. O texto foi traduzido para o português, mantendo-se as figuras e tabelas em inglês, conforme a versão publicada. Em função dessa incorporação integral, as seções de introdução e metodologia apresentam trechos que se repetem em relação às partes iniciais da dissertação.

Por fim, como material complementar, foi elaborado um infográfico, apresentado em anexo, com o objetivo de sintetizar visualmente alguns dos principais resultados discutidos ao longo do trabalho, atuando como apoio à leitura e à divulgação dos resultados para públicos diversos.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil abriga os dois maiores biomas da América do Sul, a Amazônia e o Cerrado. Ambos desempenham um papel central na regulação climática, na conservação da biodiversidade e na prestação de serviços ecossistêmicos em escala global (Nobre et al., 2016; Silva; Bates, 2002; Bustamante et al., 2016). A interação entre esses biomas cria uma extensa zona de transição ecológica, onde as mudanças no uso e na cobertura da terra são particularmente pronunciadas (Lapola et al., 2014; Myers et al., 2000).

Nesse contexto, o Maranhão, segundo maior estado do Nordeste brasileiro, situa-se na área de transição entre a Amazônia e o Cerrado, formando um mosaico ecológico altamente sensível às pressões antropogênicas. Desde a década de 1990, a integração do estado nas cadeias globais de commodities agrícolas, particularmente de soja e milho, estimulou a expansão da fronteira agrícola e a conversão de grandes áreas de florestas em pastagens e terras cultiváveis (Aragão et al., 2007; Alves; Alvarado, 2019). Ao mesmo tempo, o desmatamento ilegal, a mineração, a caça predatória e a expansão da infraestrutura intensificaram o desmatamento e o uso do fogo, colocando o Maranhão entre os estados com os maiores registros anuais de focos de incêndio tanto na Amazônia Legal quanto no Cerrado (INPE, 2023).

Em termos de posse da terra, o estado abrange cerca de 19 territórios indígenas oficialmente reconhecidos pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), dos quais 17 foram homologados (ISA; FUNAI, 2025). Esses territórios indígenas funcionam como verdadeiras ilhas de preservação em meio à expansão agrícola, desempenhando um papel fundamental na manutenção de remanescentes florestais e na proteção da sociobiodiversidade em áreas de transição biogeográfica (Constantino; Benchimol; Antunes, 2018; Fernandes, 2024). No entanto, pressões externas como grilagem de terras, extração ilegal de madeira, abertura de pastagens, invasões, mineração e incêndios intencionais se intensificaram, afetando diretamente os meios de subsistência dos povos indígenas.

A intensificação dessas atividades ilícitas exacerbou os conflitos fundiários na Amazônia, o que não só acelera o desmatamento, mas também resulta em violência contra os povos indígenas e as comunidades locais (Oliveira, 2008). O Maranhão, nesse sentido, é considerado um dos estados mais perigosos para os povos indígenas como um todo, com vulnerabilidade ainda maior para os líderes que compõem a linha de frente da defesa territorial (CIMI, 2025). A perda de vegetação reduz as áreas disponíveis para caça, coleta e cultivo tradicional, degrada os cursos d'água e perturba os circuitos culturais e cosmológicos que são intrinsecamente dependentes da integridade territorial (Fellows et al., 2021; Leonel, 2000).

Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indicam que, no Maranhão, os alertas de desmatamento se concentram principalmente em propriedades privadas, seguidas por assentamentos rurais e, em menor escala, dentro de Territórios Indígenas (INPE, 2023). No entanto, os arredores desses territórios têm apresentado taxas crescentes de supressão florestal e conversão em pastagens, aumentando, assim, a probabilidade de que atividades de queimadas deliberadas para limpeza de terras e manejo de pastagens atinjam seus limites. Nesse cenário, o fogo assume um papel duplo: por um lado, continua sendo uma prática ancestral socialmente regulada entre os povos indígenas e comunidades tradicionais; por outro, é instrumentalizado por atores externos que, sob condições climáticas mais severas, provocam incêndios florestais extensos e difíceis de controlar (Latorre et al., 2017; Anderson; Marchezini, 2020).

Durante períodos de seca extrema, os limites funcionais entre queimadas controladas e incêndios florestais descontrolados são comprometidos, revelando a interação entre estresse climático e práticas antropogênicas ilegais. Os territórios indígenas são mais eficazes na limitação do desmatamento e dos incêndios quando os direitos territoriais são formalmente reconhecidos e os mecanismos de fiscalização são efetivamente implementados (Fellows et al., 2021). No entanto, políticas públicas frágeis, descontinuidades no monitoramento e pressões econômicas externas prejudicam essa capacidade, particularmente nas fronteiras agrícolas do Cerrado no Maranhão. O resultado é uma substituição progressiva de paisagens heterogêneas por matrizes homogêneas de uso da terra, levando à perda de serviços ecossistêmicos, biodiversidade e segurança alimentar, bem como ao aumento das emissões de gases de efeito estufa.

Compreender a dinâmica espaço-temporal do fogo, incluindo sua frequência, intensidade e sazonalidade, bem como sua relação com as mudanças no uso e na cobertura da terra, é essencial para apoiar políticas eficazes de prevenção, controle e gestão integrada. O sensoriamento remoto, por meio de séries históricas multitemporais, tornou-se uma ferramenta fundamental para caracterizar regimes de fogo, mapear áreas vulneráveis e distinguir práticas tradicionais de fogo daquelas associadas ao desmatamento e à expansão agrícola (Alves; Alvarado, 2019).

Assim, este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra e suas interações com o fogo nos Territórios Indígenas do Maranhão entre 1985 e 2023. Utilizando sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial no ambiente Google Earth Engine, o estudo busca identificar a magnitude das mudanças no uso e na cobertura da terra, quantificar os remanescentes florestais e o desmatamento dentro dos territórios indígenas, avaliar a incidência e a recorrência de áreas queimadas, determinar períodos críticos de

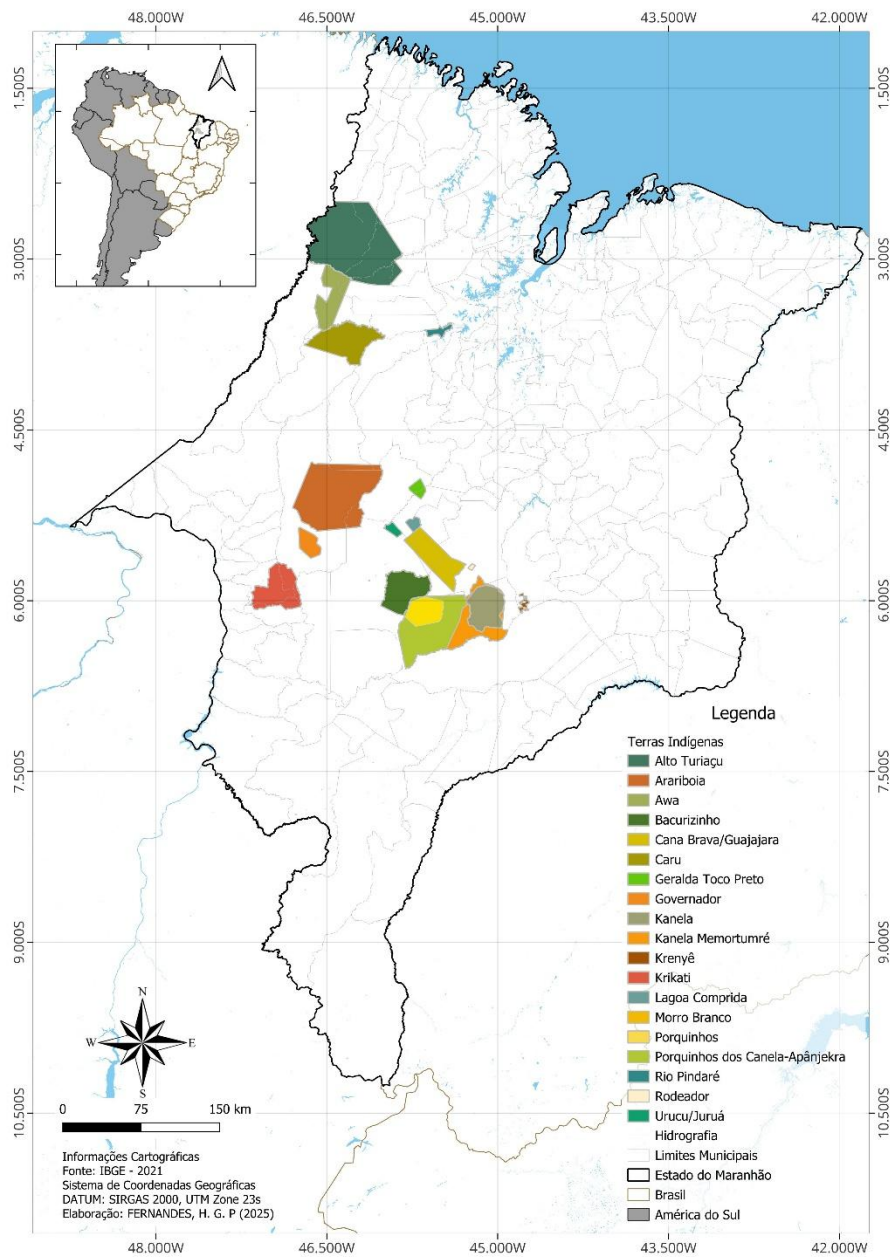
supressão da vegetação e ocorrência de incêndios e estimar as emissões de gases de efeito estufa, particularmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) associadas ao desmatamento e à queima de biomassa.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estado do Maranhão, localizado no Nordeste do Brasil, abrange aproximadamente 331.983,29 km². Faz fronteira com o Oceano Atlântico ao norte, com o estado do Piauí a leste, com o Tocantins ao sul e com o Pará a oeste (IBGE, 2025) (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização das terras indígenas do Maranhão



Elaboração: Autora (2024)

O Maranhão compreende dois biomas principais: a Amazônia e o Cerrado. No interior do estado, foram identificados 19 territórios indígenas, dos quais 17 são oficialmente homologadas. De acordo com o Censo Demográfico de 2022, a população indígena no Maranhão é estimada em 57.214 indivíduos (IBGE, 2022).

O ambiente físico do estado é caracterizado por planícies, planaltos costeiros e extensas terras baixas moldadas por processos sedimentares e tectônicos. A vegetação nativa inclui florestas ombrófilas em áreas ainda preservadas, embora o avanço do desmatamento tenha provocado intensa fragmentação e a formação de vegetação secundária em diversas regiões (Feitosa; Trovão, 2006). A cobertura vegetal do Maranhão compreende a floresta amazônica na porção oeste, formações de Cerrado predominantes no sul e no leste e as formações da Mata dos Cocais concentradas principalmente nas porções centro-norte e leste do estado, caracterizadas por extensos babaçuais, além da ocorrência de manguezais e restingas ao longo da zona costeira (Feitosa; Trovão, 2006; Bandeira, 2013).

O estado apresenta temperatura média anual em torno de 27 °C e precipitação anual variando entre aproximadamente 1.600 e 2.300 mm, com elevada variabilidade interanual, influenciada por padrões climáticos regionais e pela dinâmica dos sistemas atmosféricos tropicais (De Araújo et al., 2016; Aparecido et al., 2022).

Neste trabalho analisaram-se 19 Territórios Indígenas no estado do Maranhão, utilizando-se como base para a delimitação o shapefile oficial disponibilizado pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas- FUNAI. Do total de áreas consideradas, 17 encontram-se formalmente homologadas por meio de decreto presidencial, o que lhes confere caráter definitivo, inalienável e indisponível, conforme a legislação vigente. Apenas as Terras Indígenas Kanela Memortumré e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra permanecem na fase de delimitação, aguardando a homologação presidencial para a conclusão do processo. Ressalta-se, ainda, que a Terra Indígena Governador encontra-se em processo de reavaliação e revisão de seus limites territoriais, a fim de assegurar a integridade de sua área tradicionalmente ocupada (Tabela 1).

Terra Indígena	Área (Ha)	Povos	Presença de Isolados	População	Municípios
Alto Turiçu	530.524	Ka'apor; Awa Guajá; Tembê	sim	4.183	Centro Novo do Maranhão; Maranhãozinho; Centro do Guilherme; Zé Doca; Santa Luzia do Paruá; Araguañã, Paragominas
Araribóia	413.288	Awa Guajá, Awá isolados e Guajajara	sim	10.318	Arame; Buriticupu; Amarante do Maranhão; Bom Jesus das Selvas; Santa Luzia; Grajaú
Awá	116.582	Awá Guajá e Isolados de Mão de onça	sim	279	São João do Caru; Centro Novo do Maranhão; Zé Doca; Bom Jardim
Bacurizinho	82.432	Guajajara	não	4.327	Grajaú
Cana Brava	137.329	Guajajara	não	10.824	Jenipapo dos Vieiras; Barra do Corda; Barão de Grajaú
Caru	172.667	Awa Guajá, Guajajara e Isolados dos Igarapés Presídio e Juruti	sim	779	Bom Jardim
Geralda Toco Preto	18.506	Guajajara e Krepynkatejê	não	969	Arame; Itaipava do Grajaú
Governador	41.643	Gavião Pykobjê Guajajara Tabajara	não	1.360	Amarante do Maranhão
Kanela	125.212	Kanela (Apãnjekra)	não	2.552	Fernando Falcão; Barra do Corda
Kanela Memortumré	100.221	Kanela (Apãnjekra)	não	1.961	Fernando Falcão; Barra do Corda
Krenyê	8.035	Krenyê	não	104	Vitorino Freire; Barra do Corda
Krikati	144.775	Krikati	não	1.670	Montes Altos; Amarante do Maranhão; Lajeado Novo; Sítio Novo
Lagoa Comprida	13.198	Guajajara	não	1.334	Jenipapo dos Vieiras; Itaipava do Grajaú
Morro Branco	48.980	Guajajara	não	587	Grajaú
Porquinhos	79.520	Canela-Apãnjekra	não	892	Barra do Corda
Porquinhos dos Canela-Apãnjekra	301.000	Kanela (Apãnjekra)	não	1.076	Formosa da Serra Negra; Mirador; Fernando Falcão; Barra do Corda
Rio Pindaré	15.002	Guajajara	não	1.789	Alto Alegre do Pindaré; Santa Luzia do Paruá; Bela Vista do Maranhão; Buriticupu
Rodeador	2.319	Guajajara	não	587	Grajaú; Barra do Corda; Fernando Falcão; Formosa da Serra Negra
Urucu /Juruá	12.697	Guajajara	não	1.046	São João do Caru; Entre Rios do Maranhão; São Francisco do Maranhão

Tabela 1. Distribuição Geográfica e Etnográfica das Terras Indígenas no Maranhão

Fonte: ISA (2024), FUNAI (2025) IBGE (2022)

Elaboração: Autora (2025)

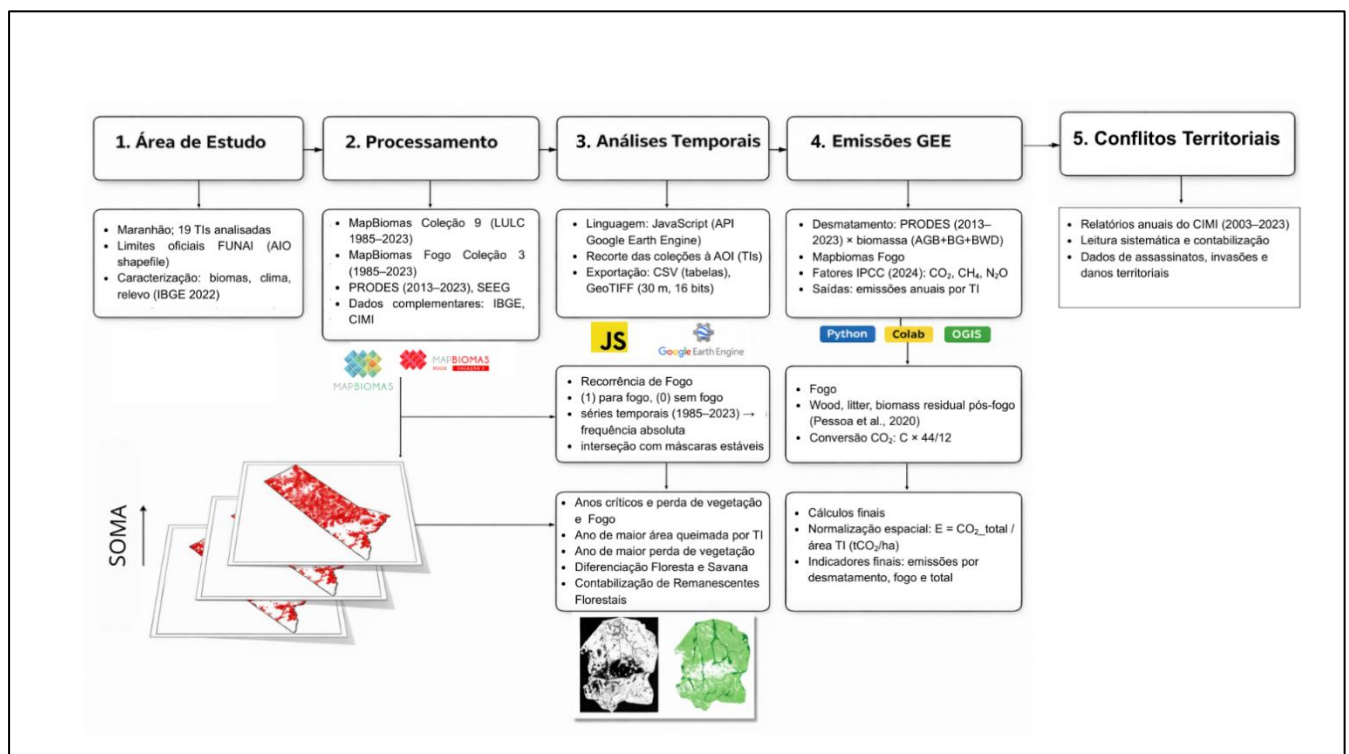
2.2 Procedimentos Metodológicos

O estudo integrou bases de dados abertas e cartografia oficial em uma abordagem multitemporal. Foram utilizadas as séries anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomas (Coleção 9), abrangendo o período de 1985 a 2023, com ênfase nas classes Formação Florestal (classe 3) e Formação Savânica (classe 4), conforme a legenda oficial. A dinâmica do fogo foi analisada a partir do produto Área Queimada Anual do MapBiomas Fogo (Coleção 3), utilizando camadas anuais que representam a área queimada entre 1985 e 2023.

Para a análise do desmatamento, empregaram-se dados do PRODES/INPE para os biomas Amazônia e Cerrado no período de 2013 a 2023. Embora o PRODES disponha de registros anteriores, os dados para o Cerrado antes de 2013 apresentam periodicidade bienal, o que poderia comprometer a consistência temporal das análises; por essa razão, optou-se pela padronização da série anual a partir de 2013.

As estimativas de estoques de carbono por compartimento, biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, madeira morta e serapilheira, foram derivadas dos mapas de biomassa da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC. Os limites das Terras Indígenas foram obtidos junto à FUNAI, a base cartográfica municipal junto ao IBGE (2022), e as informações contextuais qualitativas foram extraídas de relatórios do CIMI, que sistematizam registros de conflitos fundiários, invasões e violações de direitos indígenas (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma Metodológico



2.3 Identificação dos anos críticos de fogo e quantificação de áreas queimadas

Dando continuidade aos procedimentos de análise espacial, a identificação dos anos críticos de fogo e das Terras Indígenas mais afetadas foi conduzida em três etapas integradas. Na primeira, em ambiente Google Earth Engine (GEE) e utilizando JavaScript, implementou-se um script para analisar a Coleção 3 do MapBiomas Fogo (1985–2023) em conjunto com a Coleção 9 de Uso e Cobertura da Terra do MapBiomas. As classes Formação Florestal (código 3) e Formação Savânica (código 4), extraídas da coleção de uso e cobertura da terra, foram utilizadas para gerar máscaras que restringiram a detecção e a quantificação das queimadas apenas às formações de vegetação nativa. A partir dessa filtragem, calculou-se a área queimada anual (em hectares) para cada Terra Indígena, resultando em uma série temporal de 39 registros anuais e permitindo identificar automaticamente o ano de maior ocorrência de fogo em cada unidade. Os resultados foram exportados para análise estatística e em formato GeoTIFF, representando a espacialização dos anos críticos.

Na segunda etapa, em ambiente Python (Google Colab), as séries temporais foram estruturadas em dataframes para aplicar rotinas de quantificação dos anos de maior área queimada no estado, determinar as extensões correspondentes e identificar as Terras Indígenas com maior acúmulo de eventos de fogo ao longo do período. Essa etapa gerou gráficos comparativos e sínteses estatísticas que permitiram avaliar a variabilidade temporal e a magnitude espacial dos impactos do fogo sobre as formações florestais e savânicas. Na etapa final, os produtos GeoTIFF de ano crítico, gerados no GEE, foram integrados e classificados em ambiente QGIS, viabilizando a elaboração de mapas temáticos da distribuição espacial dos anos de maior ocorrência de fogo nas Terras Indígenas.

2.4 Derivação de máscaras de vegetação estável

A derivação das máscaras de vegetação estável foi realizada em linguagem JavaScript na API em nuvem do Google Earth Engine (GEE), utilizando a Coleção 9 do MapBiomas (1985–2023). Inicialmente, importou-se o shapefile das Terras Indígenas do Maranhão, que serviu como área de interesse e limitou espacialmente todos os cálculos subsequentes. Em seguida, selecionou-se a série multitemporal de uso e cobertura da terra e aplicou-se o critério de estabilidade temporal: um pixel foi considerado estável apenas quando permaneceu classificado na mesma formação em todos os 39 anos consecutivos do intervalo. Esse procedimento foi operacionalizado por meio de funções que verificaram, separadamente, a permanência na classe Formação Florestal (código 3) e na classe Formação Savânica (código 4), produzindo duas máscaras binárias de estabilidade.

Com base nessas máscaras, calculou-se a área correspondente a cada formação por Terra Indígena. Para tanto, empregou-se o raster de área de pixel do GEE, cuja multiplicação pelas máscaras possibilitou obter a área total em hectares. Os resultados foram organizados em uma tabela vetorial, contendo o nome da Terra Indígena e as áreas estáveis de floresta e savana. Paralelamente, foi gerado um raster categórico que integrou as duas formações em uma única camada temática, atribuindo o valor 3 para floresta estável, 4 para savana estável e 0 para ausência de estabilidade. Esse GeoTIFF foi exportado e posteriormente importado no software QGIS, onde foi classificado e utilizado para análises cartográficas e elaboração de mapas temáticos.

Esse fluxo resultou em dois produtos complementares: (i) uma base tabular padronizada com a métrica de áreas estáveis por Terra Indígena e (ii) um raster temático que espacializa a distribuição das formações florestais e savânicas estáveis no Maranhão, apto a subsidiar análises comparativas e sobreposição com outras camadas de informação.

2.5 Identificação dos anos críticos perda de vegetação e quantificação de áreas

As dinâmicas da vegetação natural nas Terras Indígenas foram analisadas utilizando o MapBiomas Coleção 9. Para cada território e para cada ano entre 1985 e 2023, calculou-se a área (em hectares) de Floresta e Savana, por meio da aplicação de máscaras de classe e da multiplicação pela camada de área de pixel no Google Earth Engine.

Em seguida, foram calculadas as variações líquidas ano a ano, com o objetivo de identificar o ano mais crítico de perda, definido como aquele que apresentou a maior variação negativa em relação ao ano anterior. Essa abordagem também permitiu identificar os territórios com as maiores perdas acumuladas ao longo da série temporal, bem como traçar as trajetórias anuais para a comparação das tendências de redução das formações naturais ao longo dos 39 anos analisados.

2.6 Estimativas de emissões de CO₂

A estimativa dessas emissões é baseada em metodologias internacionalmente reconhecidas, particularmente nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), integradas com dados do MapBiomas e do PRODES. Nossa abordagem foi baseada no Nível Nacional de Referência de Emissões Florestais (FREL) do Brasil para Pagamentos Baseados em Resultados sob o REDD+, conforme estabelecido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Para estimar as emissões de gases de efeito estufa baseadas na biomassa em diferentes

compartimentos florestais em função de eventos de perturbação. O processo começa com o estoque inicial de carbono (Ano 0) e, para cada ano subsequente, identifica a ocorrência de incêndios florestais e/ou desmatamento. As emissões foram calculadas separadamente para o desmatamento e para o fogo.

Quando tais eventos são detectados, o dióxido de carbono (CO₂) oriundo de incêndios florestais (EFF) ou do desmatamento (ED) é quantificado, e o estoque de carbono é atualizado de forma correspondente. Esse procedimento é aplicado de maneira iterativa, ano a ano, até o último ano de análise (Ano *n*), permitindo o monitoramento das trajetórias temporais das emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), bem como das mudanças nos estoques de carbono.

Dessa forma, as equações abaixo foram utilizadas para o cálculo das emissões de CO₂ e de gases não-CO₂. Para cada pixel *i* submetido ao desmatamento em cada ano (*t*), a emissão bruta de CO₂ associada é estimada por meio da Equação (1). As emissões brutas de gases não-CO₂ (CH₄ e N₂O) associadas ao desmatamento são estimadas utilizando a Equação (2).

$$\text{Def}(\text{CO}_2)_{t,i} = A_{t,i} \times C_{t,i} \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

onde:

- **Def(CO₂)** *t,i*: emissões de CO₂ (t CO₂) associadas ao desmatamento do pixel *i* no ano *t*;
- **A** *t,i*: área (hectares) do pixel *i* no ano *t*;
- **C** *t,i*: estoque total de carbono (soma dos compartimentos AGB, BGB, LI e DW; t C ha⁻¹) do pixel *i* no ano *t*;
- **44/12**: fator de conversão de carbono para CO₂.

$$\text{Def}(\text{non-CO}_2)_{t,i} = A_{t,i} \times C_{t,i} \times Ef \times Cf \times 10^{-3} \quad (2)$$

onde:

- **Def(non-CO₂)** *t,i*: emissões de CH₄ ou N₂O (t CO₂ eq) associadas ao desmatamento do pixel *i* no ano *t*;
- **A** *t,i*: área do pixel *i* no ano *t*;
- **C** *t,i*: estoque de carbono (soma dos compartimentos AGB, LI e DW; t C ha⁻¹) do pixel *i* no ano *t*;
- **0,47**: teor de carbono (t C por tonelada de matéria seca);
- **Ef**: fator de emissão (g kg⁻¹ de matéria seca), sendo 6,8 para CH₄ e 0,2 para N₂O;
- **Cf**: fator de combustão (adimensional), igual a 0,368 para o bioma Amazônia e 0,379 para o bioma Cerrado;
- **10⁻³**: fator de conversão de gramas para toneladas.

Para cada pixel *i* afetado por incêndio florestal em cada ano (*t*), a emissão bruta de CO₂ associada é estimada por meio da Equação (3), derivada da equação proposta por (Pessoa, et al,

2020). As emissões brutas de gases não-CO₂ (CH₄ e N₂O) provenientes de incêndios florestais são estimadas pela Equação (4).

Como a equação original proposta por (Pessoa, et al, 2020) foi definida em termos de biomassa, assumiu-se uma fração de carbono de 47% (fator adimensional de 0,47) para a biomassa acima do solo, conforme o FREL Nacional, a fim de estimar diretamente o carbono acima do solo pós-fogo (AGC). Assim, considera-se que:

$$AGC = AGB \times 0,47$$

tanto para as condições pré-fogo quanto pós-fogo. Isolando a biomassa acima do solo (AGB) como função do AGC ($AGB = AGC / 0,47$) e substituindo na Equação (3), obtém-se:

$$\begin{aligned} AGB_{pós-fogo} &= 0,0548 \times AGB_{pré-fogo}^{1,4702} \\ AGC_{pós-fogo} &= 0,07816 \times AGC_{pré-fogo}^{1,4702} \end{aligned}$$

A emissão de CO₂ associada aos incêndios florestais é então estimada como:

$$Fire(CO_2)_{t,i} = A_{t,i} \times (AGC_{pré-fogo} - 0,07816 \times AGC_{pré-fogo}^{1,4702}) \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

onde:

- **Fire(CO₂)** *t,i*: emissões de CO₂ (t CO₂) associadas ao incêndio florestal no pixel *i* no ano *t*;
- **A** *t,i*: área (hectares) do pixel *i* no ano *t*;
- **AGC**: estoque de carbono acima do solo (pré- ou pós-fogo);
- **44/12**: fator de conversão de carbono para CO₂.

As emissões brutas de gases não-CO₂ (CH₄ e N₂O) associadas aos incêndios florestais são estimadas pela Equação (4), conforme o FREL Nacional:

$$Fire(non-CO_2)_{t,i} = A_{t,i} \times C_{t,i} \times Ef \times Cf \times 10^{-3} \quad (4)$$

onde:

- **Fire(non-CO₂)** *t,i*: emissões de CH₄ ou N₂O (t CO₂ eq) associadas ao incêndio florestal do pixel *i* no ano *t*;
- **A** *t,i*: área do pixel *i* no ano *t*;
- **C** *t,i*: estoque de carbono (soma dos compartimentos AGB, LI e DW; t C ha⁻¹) do pixel *i* no ano *t*;
- **0,47**: teor de carbono (t C por tonelada de matéria seca);
- **Ef**: fator de emissão (g kg⁻¹ de matéria seca), sendo 6,8 para CH₄ e 0,2 para N₂O;
- **Cf**: fator de combustão (adimensional), igual a 0,368 para a Amazônia e 0,379 para o Cerrado;
- **10⁻³**: fator de conversão de gramas para toneladas.

Por fim, as emissões de gases de efeito estufa não-CO₂ foram convertidas em equivalentes de CO₂ (CO₂eq) utilizando os Potenciais de Aquecimento Global (GWP) de 100 anos do

Quinto Relatório de Avaliação do IPCC, aplicando-se os fatores 28 para o CH₄ e 265 para o N₂O, em conformidade com as diretrizes do IPCC (IPCC, 2025).

2.7 Conflitos e violência contra os povos indígenas

Os dados referentes a conflitos e violência contra os povos indígenas foram obtidos a partir dos relatórios oficiais *Violência Contra os Povos Indígenas do Brasil*, publicados anualmente pelo Conselho Indigenista Missionário (CIMI), os quais disponibilizam séries de dados sistematizadas desde 2003. Com base nessa base documental, foram levantadas informações para o período de 2003 a 2023, permitindo a análise temporal dos registros de conflitos fundiários, invasões territoriais e diferentes formas de violência direcionadas às populações indígenas.

3 CAPÍTULO I

3.1 O histórico do uso do fogo no Maranhão

O uso do fogo como ferramenta de manejo territorial antecede a ocupação colonial e tem sido praticado há milhares de anos por povos indígenas em diferentes regiões do Brasil. Entre essas populações, o fogo sempre integrou sistemas complexos de conhecimento ecológico tradicional, sendo empregado de forma intencional e controlada para atividades como caça, preparo de áreas agrícolas, limpeza do entorno das aldeias, abertura de caminhos e realização de rituais. Essas práticas foram transmitidas intergeracionalmente e profundamente adaptadas às condições ambientais específicas de cada território (Falleiro, Santana & Berni, 2016; Melo, 2022).

Historicamente, esse manejo esteve associado à técnica de derruba-e-queima, caracterizada pela utilização do fogo em pequenas áreas, pela delimitação prévia de aceiros naturais e pela adoção de longos períodos de pousio. Esses elementos contribuíam para reduzir impactos ambientais, favorecer a regeneração da vegetação e manter a fertilidade do solo, distinguindo-se de práticas extensivas e desreguladas (Pedroso Júnior et al., 2008). Regimes específicos de fogo eram aplicados com cuidado e precisão para finalidades determinadas, como o estímulo à frutificação de determinadas espécies, o controle de pragas e a fertilização do solo (Klein, 2000).

Para além de sua função produtiva, o fogo desempenha papel simbólico, ritual e cosmológico em diversas sociedades indígenas, especialmente no bioma Cerrado, onde está associado à organização do calendário agrícola, à renovação coletiva da paisagem e ao fortalecimento da coesão comunitária (Mistry et al., 2005). Nesse bioma, comunidades

indígenas desenvolveram técnicas de queima controlada de baixa intensidade, executadas em períodos estrategicamente definidos e em consonância com os ciclos ecológicos da fauna e da flora (Fidelis et al., 2018). A biodiversidade do Cerrado apresenta adaptações naturais ao fogo, de modo que queimadas periódicas e de baixa intensidade podem contribuir para a manutenção do equilíbrio ecológico (Mistry et al., 2005; Fidelis et al., 2018).

Em contraste, nos ecossistemas tropicais úmidos da Amazônia, o fogo possui dinâmica distinta. Incêndios de origem natural são historicamente raros em razão da elevada umidade e da cobertura contínua do dossel florestal, o que limita tanto a ignição quanto a propagação das chamas. Como consequência, as espécies amazônicas não desenvolveram adaptações evolutivas ao fogo (Lemos, 2021). Até o início do século XX, a ocorrência de incêndios era reduzida, passando a se intensificar nas últimas décadas em associação direta ao desmatamento, à fragmentação florestal e à degradação ambiental, com impactos severos sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas (Schroeder et al., 2009).

Ao longo do século XX, com o avanço da fronteira agrária, o uso do fogo foi progressivamente apropriado por pequenos agricultores, comunidades tradicionais não indígenas e grandes empreendimentos agropecuários. Nesse contexto, o fogo passou a desempenhar papel central na conversão de áreas florestais e savânicas, integrando estratégias de ocupação territorial e expansão produtiva. Esse processo implicou o distanciamento de práticas tradicionais de manejo, associadas a sistemas de subsistência, e sua incorporação a dinâmicas de degradação ambiental em larga escala, especialmente quando empregado de forma intensiva e desregulada (Moran, 1981; Miranda et al., 2010).

No estado do Maranhão, o uso do fogo é historicamente difundido no meio rural e não se restringe às Terras Indígenas ou à agropecuária de grande escala. A prática também está presente entre comunidades tradicionais não indígenas e pequenos produtores rurais, sendo associada ao preparo do solo, à limpeza de áreas agrícolas e ao manejo da vegetação secundária (Porro, 2022). As queimadas são amplamente utilizadas para renovação de pastagens, controle de pragas e limpeza de áreas, apresentando baixo custo operacional e relativa eficiência energética quando realizadas de forma controlada (Carvalho Júnior et al., 2016).

Entretanto, a partir da década de 2000, a intensificação do uso indiscriminado do fogo no Maranhão, associada à expansão da fronteira agrícola, à grilagem de terras e à fragilização da governança territorial, resultou em impactos ambientais severos. Nesse contexto, torna-se fundamental distinguir queimadas de incêndios: enquanto as queimadas correspondem a práticas intencionais e controladas, historicamente associadas ao manejo do território, os incêndios decorrem da perda de controle do fogo ou de ignições não autorizadas, configurando

eventos de elevado potencial destrutivo (Anderson & Marchezini, 2021). A não observância dessa distinção contribuiu tanto para o agravamento dos danos ambientais quanto para a formulação de políticas públicas pouco eficazes na prevenção dos incêndios florestais.

Dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais indicam que o Maranhão figura recorrentemente entre os estados com maior número de focos ativos, sobretudo entre os meses de agosto e outubro, período caracterizado por estiagem prolongada (INPE, 2023). Nesse cenário, consolidou-se a narrativa do “índio incendiário”, que desconsidera o caráter regulado, seletivo e preventivo do manejo tradicional do fogo. Tal estigmatização ignora que uma parcela expressiva dos incêndios registrados em Terras Indígenas está associada a ações ilegais conduzidas por agentes não indígenas, como madeireiros e grileiros (Leonel, 2000; Fellows et al., 2021).

Relatos de lideranças indígenas no Maranhão, incluindo povos como os Guajajara, Gavião Pyhcop Catiji (Pykobjê), Ka’apor e Awá-Gujá, indicam que parte predominante dos focos de incêndio registrados em seus territórios está associada a práticas retaliatórias de madeireiros clandestinos. Nessas situações, o uso deliberado do fogo atua como instrumento de intimidação, coerção territorial e facilitação da exploração ilegal de recursos florestais, inserindo-se em um contexto mais amplo de conflitos fundiários e fragilização da governança ambiental (Lila, 2015; Melo, 2017).

De acordo com relato de um membro do povo Guajajara da Terra Indígena Arariboia, entre as práticas tradicionais de manejo do fogo destaca-se a técnica conhecida como “*fazer barrida*”. Essa prática consiste na delimitação prévia de dois círculos concêntricos antes da realização da queima. O círculo interno define a área a ser queimada, enquanto o círculo externo atua como uma barreira protetora, reduzindo o risco de propagação das chamas para áreas adjacentes. A remoção antecipada do material inflamável no entorno da área delimitada contribui para o controle da combustão e para a prevenção de incêndios descontrolados. Tal procedimento evidencia o caráter preventivo, coletivo e tecnicamente estruturado do uso tradicional do fogo, fundamentado em conhecimentos ecológicos locais transmitidos intergeracionalmente (Figura 3).

Figura 3. Técnica de manejo do fogo “barrida”



Elaborado: Autora, 2024

Apesar do reconhecimento crescente dessas práticas, as políticas públicas relacionadas ao uso do fogo no Brasil foram historicamente estruturadas sob a lógica da proibição absoluta, como nas iniciativas de “fogo zero”. Ao desconsiderarem as queimadas tradicionais controladas, tais políticas contribuíram para o acúmulo de biomassa seca, favorecendo a ocorrência de incêndios de maior intensidade, cenário agravado por eventos climáticos extremos, como o fenômeno El Niño (Falleiro et al., 2016; Fidelis et al., 2018).

No Maranhão, esse contexto motivou a adoção de instrumentos legais mais restritivos. O Decreto Estadual nº 39.283/2024 instituiu o período proibitivo para o uso do fogo entre 1º de agosto e 30 de novembro, integrando o programa Maranhão Sem Queimadas 2024, coordenado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA, 2024). Paralelamente, o estado mantém o Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento e Queimadas do Maranhão (PPCDQ-MA), instituído pelo Decreto nº 27.317/2011, que articula ações de monitoramento, fiscalização, regularização fundiária e incentivo a alternativas produtivas menos dependentes do fogo (SEMA, 2024).

Cabe destacar que nem toda queimada implica impacto ambiental negativo. Em ambientes de Cerrado, queimadas tradicionais controladas podem ser ecologicamente compatíveis (Mistry et al., 2005). Contudo, dependendo do regime de fogo, da frequência e da intensidade, o fogo pode provocar efeitos catastróficos sobre a disponibilidade de serviços ecossistêmicos, a conectividade de habitats e o crescimento da vegetação (Durigan, 2020).

Nesse sentido, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) tem promovido a revalorização do

conhecimento tradicional indígena como estratégia de prevenção de incêndios florestais, articulando práticas ancestrais e exigências técnico-legais contemporâneas (Falleiro, Santana & Berni, 2016). Essa abordagem foi institucionalizada com a criação da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, estabelecida pela Lei nº 14.944/2024 e regulamentada pelo Decreto nº 12.173/2024 (Brasil, 2024).

A implementação dessas diretrizes se concretiza, em grande medida, na atuação dos brigadistas indígenas integrados ao Programa Brigadas Federais do Prevfogo/IBAMA, que desempenham ações de prevenção, monitoramento e combate inicial aos incêndios, articulando conhecimento tradicional e protocolos técnicos, frequentemente em condições de infraestrutura limitada (Brasil, 2025).

Dessa forma, a compreensão histórica do uso do fogo no Maranhão exige o reconhecimento de que os regimes tradicionais de queima, particularmente aqueles praticados por povos indígenas, diferem substancialmente dos incêndios contemporâneos associados à degradação ambiental, à expansão agropecuária e aos conflitos territoriais. A desconsideração dessas distinções contribuiu para políticas públicas homogêneas e pouco eficazes, que negligenciam o papel preventivo do manejo tradicional. Nesse cenário, o Manejo Integrado do Fogo emerge como abordagem estratégica ao articular conhecimento ecológico tradicional, evidências científicas e instrumentos legais, permitindo não apenas a mitigação de incêndios florestais, mas também a valorização dos modos de vida tradicionais e a proteção territorial das Terras Indígenas no estado do Maranhão que desempenham um papel fundamental na conservação dos remanescentes florestais e estoques de carbono do estado.

3.2 Resistência indígena, políticas territoriais e os Guardiões da Floresta

A partir da redemocratização e com o fortalecimento dos movimentos indígenas, houve avanços substanciais, mas ainda persiste uma luta contínua contra retrocessos e a pressão de setores contrários à demarcação (Lippel, 2014). Darcy Ribeiro enfatiza a capacidade de resistência e adaptação dos povos indígenas diante das pressões externas, propondo que a sobrevivência dessas culturas depende de políticas que reconheçam e respeitem sua autonomia e direitos territoriais (Ribeiro, 1996).

Contudo, essa visão revela também a contradição histórica enfrentada pelos povos indígenas, em que lhes é exigida uma rápida e eficaz capacidade de adaptação às adversidades que assolam seus territórios, como invasões, desmatamentos e conflitos territoriais, sem que lhes seja garantido o mínimo suporte necessário para enfrentar tais desafios. Essa expectativa de uma “resiliência indígena utópica” reflete a omissão das políticas públicas e o descaso

estrutural, que colocam sobre os povos indígenas a responsabilidade de resistir, mesmo diante de um cenário de vulnerabilidade e desamparo institucional.

Nesse cenário, a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI), instituída pelo Decreto nº 7.747/2012, representa um marco importante ao reconhecer as Terras Indígenas como espaços de vida e cultura, com diretrizes voltadas à sustentabilidade, autonomia e conservação ambiental. A PNGATI busca integrar o conhecimento tradicional indígena à gestão participativa dos territórios, contribuindo para a valorização da diversidade sociocultural e a proteção dos recursos naturais (Brasil, 2012).

Um exemplo concreto dessa abordagem é o Plano de Gestão Territorial e Ambiental das Terras Indígenas Timbira (PGTA Timbira), construído entre 2008 e 2013 por iniciativa das comunidades Timbira, com apoio técnico do Centro de Trabalho Indigenista (CTI) e da Associação Wyty-Catë. O plano abrange seis Terras Indígenas e organiza-se em torno de quatro eixos principais: proteção e controle territorial, manejo de recursos naturais, atividades produtivas sustentáveis e educação ambiental (Wyty-Catë; CTI, 2021). Para além de seu valor técnico, o PGTA Timbira representa um modelo de política pública formulada com protagonismo indígena, demonstrando a capacidade das comunidades de exercer a gestão de seus territórios de forma autônoma e sustentável.

No contexto atual, a discussão sobre a tese do marco temporal intensificou os debates sobre os direitos territoriais indígenas. Segundo essa tese, apenas os povos que estivessem fisicamente presentes na terra em 5 de outubro de 1988 teriam direito à demarcação. Essa interpretação desconsidera os processos históricos de expulsão e violência que afetam muitos grupos. Em setembro de 2023, o Supremo Tribunal Federal declarou a tese inconstitucional, reafirmando os direitos originários assegurados pelo artigo 231 da Constituição Federal (STF, 2023).

Apesar dessa decisão, o Congresso Nacional aprovou a Lei nº 14.701/2023, que tenta reintroduzir os critérios do marco temporal, gerando preocupações sobre possíveis retrocessos. Diversas organizações, como o Ministério Público Federal, a Articulação dos Povos Indígenas do Brasil (APIB) e a Organização das Nações Unidas (ONU), manifestaram-se contra a nova legislação, alegando sua incompatibilidade com a Constituição e seus impactos negativos sobre os direitos indígenas (MPF, 2023; APIB, 2023; ONU, 2023).

Em abril de 2024, foi realizado, em Brasília, o 20º Acampamento Terra Livre (ATL), mobilização nacional organizada pela Articulação dos Povos Indígenas do Brasil (APIB) contra a Lei nº 14.701/2023. O evento reuniu aproximadamente nove mil indígenas, representando os biomas do Brasil, e teve como pauta central a defesa dos direitos territoriais e a rejeição à tese

do marco temporal (APIB, 2024). Essa mobilização evidencia que os povos indígenas não se mantêm passivos diante de ameaças a seus direitos constitucionais, articulando-se ativamente para a defesa de seus territórios e reafirmando sua autonomia política e capacidade de incidência nas arenas decisórias nacionais, demonstrando que é por meio de mobilizações como essa que conquistaram e seguem conquistando direitos (Figura 14).

Figura 4. Marcha do acampamento Terra Livre “Nosso Marco é Ancestral: Sempre Estivemos Aqui!”



Fonte: Costa (2024); Autora (2024)

No Maranhão, as Terras Indígenas apresentam um histórico de conflitos fundiários e situações de violência associadas à indefinição jurídica de suas áreas. O atraso nos processos de demarcação e homologação compromete a continuidade territorial dos povos indígenas e dificulta a preservação de seus modos de vida. Além disso, a ausência de regularização fundiária limita a efetividade de ações de proteção ambiental e gestão territorial nessas regiões. Nesse sentido, os conflitos territoriais não podem ser compreendidos como eventos isolados ou episódicos, mas como parte constitutiva de um processo contínuo de disputa pelo território, no qual a degradação ambiental, o uso ilegal do fogo e a violência contra os povos indígenas operam de forma articulada, reforçando dinâmicas históricas de expropriação e insegurança territorial.

A distinção entre regimes tradicionais de manejo do fogo e incêndios associados a

pressões fundiárias recentes constitui elemento central para a interpretação dos dados ambientais e dos registros de violência aqui sistematizados. De acordo com os Relatórios Anuais de Violência Contra os Povos Indígenas no Brasil, publicados pelo Conselho Indigenista Missionário (CIMI) e filtrados para o estado do Maranhão, no período de 2003 a 2023 foram registrados ao menos 77 assassinatos de indígenas. Observa-se forte concentração na Terra Indígena Araribóia, sendo que 54 dos casos envolveram o povo Guajajara (Tenetehara), o que corresponde a aproximadamente 70% das vítimas. Os demais registros distribuíram-se entre os povos Ka'apor (4), Kanela Apãniekra (3), Timbira (3), Gavião (ao menos 2), além de Gamela, Awá-Guajá e Krikati (1 caso cada), demonstrando que, embora a violência atinja diferentes povos indígenas, sua distribuição apresenta concentração territorial expressiva.

Com base na mesma fonte documental, foram contabilizados aproximadamente 280 registros de danos ao patrimônio indígena no estado durante o período analisado. Esses registros abrangem ocorrências relacionadas à exploração ilegal de madeira, desmatamento associado à grilagem de terras, invasões territoriais e uso do fogo. A extração ilegal de madeira esteve presente em 18 dos 21 anos considerados; o desmatamento em 16 anos; invasões e práticas de grilagem em 15 anos; e o uso do fogo em 12 anos, configurando um padrão recorrente de pressões territoriais ao longo do período.

Os relatórios também registram episódios de incêndio de moradias nas Terras Indígenas Cana Brava, Bacurizinho e Araribóia, nos anos de 2004, 2005 e 2007, durante incursões de invasores (CIMI, 2005; 2007). Do ponto de vista temporal, os maiores picos de assassinatos ocorreram em 2016 (11 casos), 2006–2007 (10), 2019 (7) e 2023 (8). No conjunto, foram registrados ao menos 253 episódios de conflitos, invasões e danos territoriais em Terras Indígenas do Maranhão, com intensificação a partir de 2014 e ápice em 2019 (42 casos), mantendo-se em níveis elevados até 2023.

Esse quadro se insere em um contexto histórico de fragmentação territorial e avanço de infraestruturas e núcleos de ocupação não indígena sobre terras tradicionalmente ocupadas, especialmente nos territórios do povo Guajajara, onde os conflitos envolvendo madeireiros e moradores do entorno se intensificaram ao longo do tempo (CIMI, 2008).

É nesse contexto de intensificação dos conflitos territoriais, recorrência de invasões, degradação ambiental e fragilidade das ações estatais de proteção que emergem iniciativas de autodefesa e vigilância territorial protagonizadas pelos próprios povos indígenas. Diante da persistente pressão sobre seus territórios e dos riscos associados à defesa ambiental, comunidades indígenas passaram a organizar estratégias próprias de proteção territorial, articulando resistência política, monitoramento ambiental e afirmação do direito à permanência

em suas terras.

Os Guardiões da Floresta são um grupo organizado por indígenas, especialmente do povo Tentehar (Guajajara), na Terra Indígena Arariboia, dedicado à vigilância e proteção do território contra madeireiros, grileiros e outras atividades ilegais que ameaçam a floresta e as comunidades. Eles monitoram trilhas e ações de invasores, documentam e denunciam crimes ambientais, e desenvolvem estratégias de defesa territorial que articulam saberes tradicionais e instrumentos políticos contemporâneos de proteção ambiental e luta por direitos indígenas. Essa atuação é descrita na literatura como expressão de autonomia indígena e de um modo político de mobilizar as questões ambientais na defesa da natureza e do território (ISA, 2025; da Silva & Neto, 2024, Fernandes et al, 2024).

O assassinato do guardião da floresta Paulo Paulino Guajajara, ocorrido em 2019 na Terra Indígena Araribóia, teve ampla repercussão nacional e internacional e contribuiu para intensificar o clima de tensão em territórios historicamente marcados por invasões e conflitos fundiários. O episódio evidencia os riscos enfrentados pelos Guardiões da Floresta em suas ações de proteção territorial e a persistente associação entre a defesa dos territórios indígenas e a violência decorrente das pressões ilegais sobre essas áreas (CIMI, 2019).

Na percepção dos Guardiões, os não indígenas representam os verdadeiros antagonistas, aqueles que, ao longo dos anos, exploravam impiedosamente os recursos naturais essenciais à subsistência dos Tenetehara. São os caçadores, os madeireiros e os agentes do fogo descontrolado que assola a TI durante os períodos de estiagem (Martins, 2023) Dessa forma, a experiência dos Guardiões da Floresta evidencia que a proteção ambiental nas Terras Indígenas está intrinsecamente ligada à luta pela permanência territorial em contextos de conflito e violência recorrentes.

4 CAPÍTULO II

4.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto constitui um instrumento estratégico para a observação sistemática, a análise espacial e a interpretação das transformações ambientais e territoriais, especialmente em regiões de difícil acesso, como as Terras Indígenas (TIs) do Maranhão. Conforme definido por Novo (2010), trata-se de um conjunto de técnicas que permite a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem contato direto, a partir da captação e interpretação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos diferentes alvos da paisagem. Essa abordagem possibilita o monitoramento contínuo das dinâmicas ambientais em múltiplas escalas espaciais e temporais, revelando padrões e processos que não seriam

plenamente identificáveis por métodos de campo isolados. Essa capacidade assume relevância direta diante da extensão territorial e da intensidade das transformações associadas ao desmatamento, ao uso do fogo e às atividades antrópicas nos biomas Amazônia e Cerrado, que caracterizam o contexto ambiental maranhense.

A análise das mudanças no uso e na cobertura da terra constitui uma das principais aplicações do sensoriamento remoto, permitindo identificar e monitorar transformações ambientais associadas às intervenções antrópicas ao longo do tempo (Florenzano, 2011). Em áreas marcadas por conflitos fundiários e sobreposição de interesses, como as Terras Indígenas maranhenses, esses levantamentos adquirem caráter estratégico ao subsidiar o planejamento territorial, o monitoramento ambiental e a gestão de áreas protegidas, além de apoiar a tomada de decisão por órgãos públicos (Silva et al., 2013).

A noção de cobertura da terra refere-se aos elementos naturais e físicos que compõem a superfície, como vegetação, corpos d'água e áreas de solo exposto. Já o uso da terra está associado às práticas humanas que se desenvolvem sobre essa superfície, como agricultura, pastagens ou áreas urbanas. Segundo Araújo Filho, Meneses e Sano (2009), os conceitos de cobertura da terra e uso da terra são intimamente relacionados, mas distintos em sua natureza fenomenológica, sendo a cobertura diretamente observável em imagens de sensoriamento remoto, enquanto o uso da terra é inferido por meio da análise de padrões espectrais, forma e relações espaciais em conjunto com conhecimento contextual da área.

A análise dessas imagens exige associar variáveis como reflectância, textura, forma e padrão espacial, o que demanda domínio técnico e conhecimento contextual sobre a área de estudo. Como enfatiza Novo (2010), o sensoriamento remoto, ao ser integrado ao conhecimento geográfico e ambiental, amplia a capacidade de compreensão dos processos ecológicos e das pressões antrópicas sobre os territórios indígenas.

O Cerrado é o bioma brasileiro que apresenta os mais elevados índices de conversão da vegetação nativa em áreas agropecuárias, processo favorecido por condições edafoclimáticas propícias, incentivos econômicos e pela histórica incorporação do bioma à lógica de expansão da fronteira agrícola nacional (Klink & Machado, 2005; Sano et al., 2019). Na Amazônia, a intensificação do desmatamento, da exploração de madeira e da mineração coloca em risco áreas protegidas, inclusive as TIs, diante da ausência de mecanismos eficazes de contenção (Fellows et al., 2021).

No Maranhão, os conflitos por terra têm se intensificado em função das transformações no uso da terra e das dinâmicas do capital agrário, incluindo a expansão do agronegócio, que coloca pressão sobre territórios indígenas e tradicionais (Do Nascimento, 2024). Essa

reconfiguração territorial, impulsionada por interesses econômicos, impõe severos impactos aos ecossistemas e ameaça a integridade das TIs.

As imagens orbitais permitem detectar transformações na paisagem, como o avanço da fronteira agrícola, a fragmentação de habitats e o desmatamento, gerando subsídios para análise dos impactos ambientais e das emissões associadas às mudanças de uso da terra (Silva Júnior et al., 2023). Em regiões de transição como o MATOPIBA, em que se sobrepõem os biomas Amazônia e Cerrado, a pressão sobre as TIs é particularmente intensa, exigindo monitoramento contínuo e de alta resolução (Pessoa et al., 2020).

O monitoramento do fogo, por sua vez, tem se beneficiado dos avanços em sensoriamento remoto, especialmente no rastreamento de focos ativos e na delimitação de áreas queimadas ao longo do tempo. Aragão et al. (2018) demonstram que os picos de emissão associados ao fogo variam conforme a cobertura vegetal e o tipo de uso da terra, sendo mais expressivos em áreas de transição ou ocupação recente.

Entre os instrumentos de maior relevância destaca-se o MapBiomias, uma iniciativa colaborativa que integra instituições de pesquisa, universidades, ONGs e empresas de tecnologia. Seus produtos são elaborados a partir do processamento de imagens da série Landsat com o uso do Google Earth Engine. A Coleção 9 disponibiliza mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil entre 1985 e 2023, com resolução espacial de 30 metros. Já a Coleção 3 de Fogo fornece séries temporais mensais e anuais de áreas queimadas, recorrência de fogo e padrões de queima com a mesma resolução espacial. Esses dados, amplamente validados, têm sido utilizados para análise de tendências, elaboração de políticas públicas e monitoramento de territórios vulneráveis (MapBiomias, 2024).

A utilização de geotecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), tem ampliado a capacidade analítica no planejamento e na gestão ambiental. Segundo Câmara & Monteiro (2001), os SIGs permitem a integração de múltiplas camadas de informação espacial, facilitando a análise de padrões e a tomada de decisão em estudos territoriais complexos. Quando associados ao sensoriamento remoto, esses sistemas tornam-se fundamentais para monitorar a dinâmica da paisagem e subsidiar políticas públicas de proteção ambiental.

A combinação entre dados espectrais, informações socioeconômicas e referenciais territoriais permite compreender os efeitos da expansão da fronteira agrícola sobre as TIs. De acordo com Rossoni & Moraes (2020), o avanço da agropecuária está diretamente relacionado à eliminação da vegetação nativa e à homogeneização da paisagem, substituindo mosaicos ecológicos por pastagens e monoculturas.

O sensoriamento remoto, nesse sentido, revela-se uma ferramenta estratégica não apenas para registrar impactos, mas também para apoiar ações de mitigação e planejamento territorial. Conforme reforça Novo (2010), sua integração com variáveis ambientais e sociais fortalece o papel das geotecnologias na gestão de áreas protegidas. Além disso, comunidades indígenas têm adotado ferramentas de mapeamento participativo e tecnologias de geolocalização em seus sistemas de monitoramento e vigilância territorial. O uso dessas tecnologias fortalece o protagonismo indígena e contribui para a construção de diagnósticos ambientais mais sensíveis às realidades locais.

5 CAPÍTULO III

Ressalta-se que o próximo capítulo desta dissertação foi estruturado integralmente de acordo com o layout e as diretrizes editoriais da revista Land (MDPI), uma vez que corresponde a um artigo científico já publicado. O referido artigo foi publicado em 9 de janeiro, refletindo fielmente os procedimentos metodológicos, os resultados e as discussões apresentados neste trabalho. <https://www.mdpi.com/2073-445X/15/1/132>



Artigo

Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra e sua Associação com o Fogo em Terras Indígenas do Maranhão, Brasil (1985–2023)

Helen Giovanna Pereira Fernandes ^{1,*}, Taíssa Caroline Silva Rodrigues ², Felipe de Luca dos Santos Nogueira ³, Maycon Henrique Franzoi de Melo ⁴, Ricardo Dalagnol ^{5,*}, Ana Talita Galvão Freire ⁶ and Celso Henrique Leite Silva-Junior ^{7,8}

¹ Graduate Program in Geography, Department of Geography, Federal University of Maranhão, São Luís 65085-580, MA, Brazil

² Department of Geography, Tocantina Region State University of Maranhão, Imperatriz 65919-450, MA, Brazil; taissa.rodrigues@uemasul.edu.br

³ Graduate Program in Biodiversity and Conservation, Department of Biology, Federal University of Pará, Altamira 68372-970, PA, Brazil; felipe.nogueira@altamira.ufpa.br

⁴ Department of Social Sciences, Federal University of Maranhão, São Luís 65085-580, MA, Brazil; maycon.melo@ufma.br

⁵ CTrees, Pasadena, CA 91105, USA

⁶ Graduate Program in Development and Environment, Federal University of Maranhão, São Luís 65085-580, MA, Brazil; ana.talita@discente.ufma.br

⁷ Amazon Environmental Research Institute, Brasília 71620-430, DF, Brazil; celso.junior@ipam.org.br

⁸ Graduate Program in Biodiversity and Conservation, Federal University of Maranhão, São Luís 65085-580, MA, Brazil

* Correspondence: helen.gpf@discente.ufma.br (H.G.P.F.); rdalagnol@ctrees.org (R.D.)

Resumo

A proteção das Terras Indígenas (TIs) no estado do Maranhão, localizado na região Nordeste do Brasil, representa um desafio significativo na interface entre a conservação ambiental e os direitos territoriais. Situado entre os biomas Amazônia e Cerrado e inserido na fronteira agrícola do MATOPIBA, o estado enfrenta crescentes pressões antrópicas que aceleram as mudanças no uso e cobertura da terra, intensificam os regimes de fogo e ampliam as emissões de gases de efeito estufa. Este estudo avaliou a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra e sua relação com o fogo em Terras Indígenas oficialmente reconhecidas, no período de 1985 a 2023, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial na plataforma Google Earth Engine. As Terras Indígenas perderam 185.327 ha de vegetação nativa, dos quais 66,9% corresponderam a formações florestais e 33,1% a formações savânicas; ainda assim, mantiveram 2.028.755 ha em 2023, sendo 81,2% classificados como floresta. A recorrência do fogo atingiu até 37 eventos por pixel, com as Terras Indígenas Araribóia, Kanela e Porquinhos dos Canela Apãjekra apresentando as maiores frequências. Durante o evento El Niño de 2015–2016, a Terra Indígena Araribóia registrou o maior episódio de fogo, com 200.652 ha queimados (48,5%). Entre 2013 e 2023, as emissões totais de gases de efeito estufa alcançaram aproximadamente 709 Mt CO₂eq, sendo 85% provenientes do fogo e 15% do desmatamento. Os resultados evidenciam a necessidade de integrar os conhecimentos tradicionais, a governança territorial e estratégias de Manejo Integrado do Fogo, de modo a fortalecer a proteção das Terras Indígenas e apoiar a preservação dos modos de vida indígenas no Maranhão.

Palavras-chave: emissões de gases de efeito estufa; recorrência do fogo; desmatamento; sensoriamento remoto

Academic Editors: Massimo Fabris and Michele Monego

Received: 25 November 2025

Revised: 29 December 2025

Accepted: 6 January 2026

Published: 9 January 2026

Copyright: © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access

publication under the terms and

conditions of the [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[Attribution \(CC BY\) license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introdução

O Brasil abriga os dois maiores biomas da América do Sul, a Amazônia e o Cerrado. Ambos desempenham papel central na regulação do clima, na conservação da biodiversidade e na provisão de serviços ecossistêmicos em escala global [1–3]. A interação entre esses biomas dá origem a uma extensa zona de transição ecológica, na qual as mudanças no uso e na cobertura da terra são particularmente acentuadas [4,5].

Nesse contexto, o Maranhão, segundo maior estado da região Nordeste do Brasil, localiza-se na área de transição entre a Amazônia e o Cerrado, formando um mosaico ecológico altamente sensível às pressões antrópicas. Desde a década de 1990, a inserção do estado nas cadeias globais de commodities agrícolas, especialmente soja e milho, tem estimulado a expansão da fronteira agropecuária e a conversão de grandes áreas de florestas e formações savânicas em pastagens e áreas agrícolas [6,7]. Paralelamente, a exploração madeireira ilegal, a mineração predatória, a caça e a expansão da infraestrutura intensificaram o desmatamento e o uso do fogo, colocando o Maranhão entre os estados com os maiores registros anuais de focos de incêndio tanto na Amazônia Legal quanto no Cerrado [8].

No que se refere à estrutura fundiária, o estado abriga um total estimado de 19 Terras Indígenas oficialmente reconhecidas pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas - FUNAI, das quais 17 já foram homologadas [9]. Essas Terras Indígenas funcionam como verdadeiras ilhas de preservação em meio à expansão agropecuária, desempenhando papel crucial na manutenção de remanescentes florestais e na proteção da sociobiodiversidade em áreas de transição biogeográfica [10]. No entanto, pressões externas como grilagem de terras, extração ilegal de madeira, abertura de pastagens, mineração e incêndios intencionais têm se intensificado, afetando diretamente os modos de vida indígenas.

A intensificação dessas atividades ilícitas tem agravado os conflitos fundiários na Amazônia, que não apenas aceleram o desmatamento, mas também resultam em episódios de violência contra povos indígenas e comunidades locais [11]. Nesse sentido, o Maranhão é considerado um dos estados mais perigosos para os povos indígenas, com vulnerabilidade ainda maior para lideranças envolvidas na defesa territorial [12,13]. A perda de vegetação reduz as áreas disponíveis para caça, coleta e cultivo tradicional, degrada os cursos d'água e rompe circuitos culturais e cosmológicos intrinsecamente dependentes da integridade territorial [14,15].

Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE indicam que, no Maranhão, os alertas de desmatamento concentram-se principalmente em propriedades privadas, seguidos por assentamentos agrários e, em menor proporção, no interior das Terras Indígenas (TIs) [8]. Contudo, o entorno dessas terras tem apresentado taxas crescentes de supressão florestal e conversão para pastagens, aumentando a probabilidade de que queimadas deliberadas para limpeza de áreas e manejo de pasto atinjam seus

limites. Nesse cenário, o fogo assume um papel dual: por um lado, permanece como uma prática ancestral socialmente regulada entre os povos indígenas; por outro, é instrumentalizado por agentes externos que, sob condições climáticas mais severas, desencadeiam incêndios florestais extensos e de difícil controle [16,17]. Durante períodos de seca extrema, a tênue fronteira entre a queima controlada e o incêndio florestal descontrolado tende a colapsar, revelando a convergência entre fatores de estresse climático e práticas antrópicas ilegais.

As Terras Indígenas são mais eficazes na limitação do desmatamento e do fogo quando os direitos territoriais são formalmente reconhecidos e os mecanismos de fiscalização são efetivamente implementados [14]. No entanto, fragilidades nas políticas públicas, descontinuidades no monitoramento e pressões econômicas externas comprometem essa capacidade, especialmente nas frentes agrícolas do Cerrado maranhense. O resultado é a substituição progressiva de paisagens heterogêneas por matrizes homogêneas de uso da terra, levando à perda de serviços ecossistêmicos, biodiversidade e segurança alimentar, além do aumento das emissões de gases de efeito estufa.

Compreender a dinâmica espaço-temporal do fogo incluindo sua frequência, intensidade e sazonalidade bem como sua relação com as mudanças no uso e na cobertura da terra, é fundamental para subsidiar políticas eficazes de prevenção, controle e manejo integrado. O sensoriamento remoto, por meio de séries históricas multitemporais, tem se consolidado como uma ferramenta-chave para a caracterização dos regimes de fogo, o mapeamento de áreas vulneráveis e a distinção entre práticas tradicionais de uso do fogo e aquelas associadas ao desmatamento e à expansão agropecuária [7].

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica temporal do uso e da cobertura da terra e suas interações com o fogo nas Terras Indígenas do Maranhão entre 1985 e 2023. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial no ambiente Google Earth Engine, o estudo busca identificar a magnitude das mudanças no uso e cobertura da terra, quantificar os remanescentes florestais e o desmatamento no interior das TIs, avaliar a incidência e a recorrência das áreas queimadas, determinar períodos críticos de supressão da vegetação e ocorrência do fogo, bem como estimar as emissões de gases de efeito estufa, particularmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) associadas ao desmatamento e à queima de biomassa.

Com base nessa abordagem analítica, o estudo também se propõe a: (i) evidenciar as pressões externas sobre as Terras Indígenas; (ii) avaliar os impactos diretos sobre os modos de vida indígenas; e (iii) examinar os desafios da gestão territorial no contexto do fogo e do desmatamento. Em síntese, a proteção das Terras Indígenas no Maranhão vai além da conservação da biodiversidade e dos estoques de carbono, sendo igualmente fundamental para a manutenção dos modos de vida indígenas e da

soberania cultural. Reconhecer a diversidade e a complexidade desses territórios é indispensável para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e manejo que sejam efetivamente capazes de enfrentar a interação entre pressões antrópicas, vulnerabilidades climáticas e ameaças à integridade territorial.

2. Materials e Métodos

2.1. Área de Estudo

O estado do Maranhão, localizado no Nordeste do Brasil, abrange aproximadamente 331.983,29 km². Faz fronteira com o Oceano Atlântico ao norte, com o Piauí a leste, com o Tocantins ao sul e com o Pará a oeste [18]. O Maranhão compreende dois grandes biomas: a Amazônia e o Cerrado. No interior do estado, foram identificadas 19 Terras Indígenas, das quais 17 são oficialmente ratificadas (Figura 1). De acordo com o Censo Nacional de 2022, a população indígena no Maranhão é estimada em 57.214 indivíduos [19].

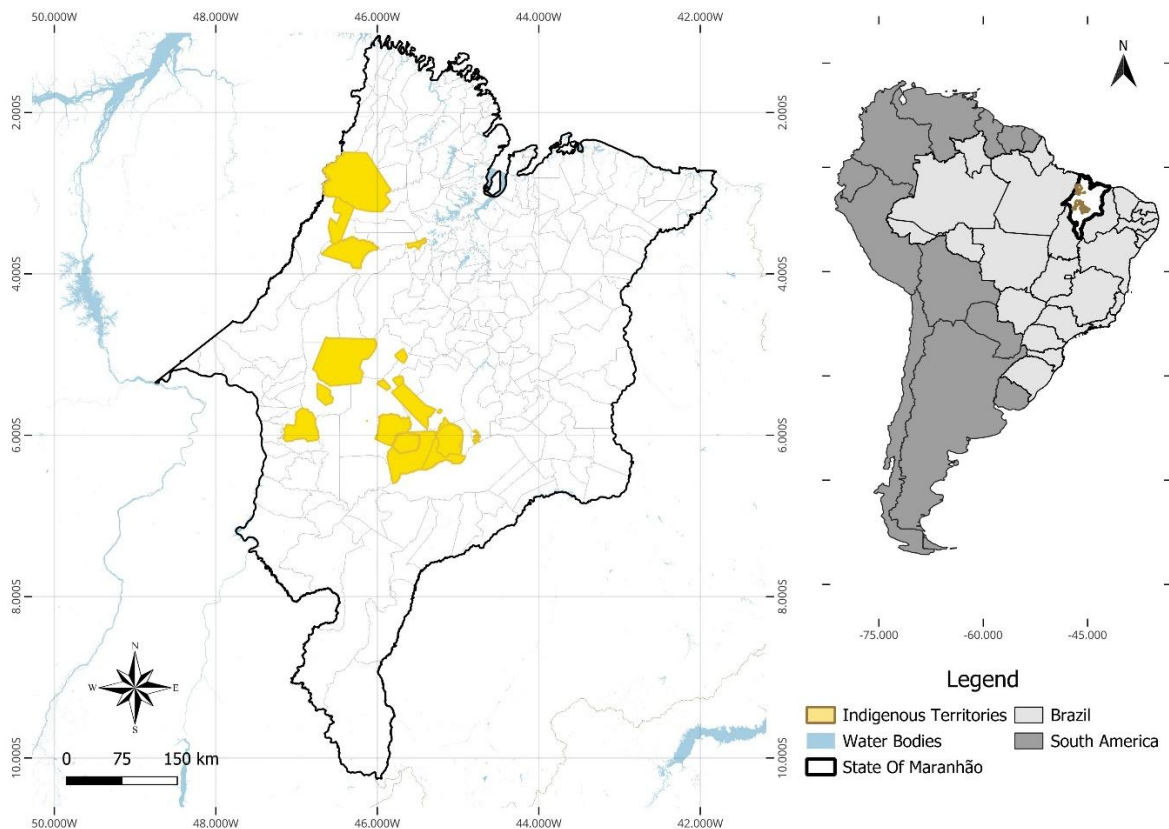


Figura 5. Figura 1. Mapa de localização das terras indígenas do Maranhão.

O ambiente físico é caracterizado por planícies, planaltos costeiros e terras baixas moldadas por processos sedimentares e tectônicos. A vegetação nativa inclui florestas ombrófilas em áreas preservadas; entretanto, o desmatamento tem provocado a fragmentação desses ambientes e a formação de vegetação secundária em diversas regiões [20]. A vegetação nativa do Maranhão abrange a floresta amazônica na porção oeste do estado,

formações de Cerrado ao sul e a leste, e as formações da Mata dos Cocais concentradas nas porções centro-norte e leste, caracterizadas por extensas formações de palmeiras, como o babaçu, além de manguezais e restingas ao longo da zona costeira [20,21].

O estado apresenta temperatura média anual de aproximadamente 27 °C e precipitação anual variando entre 1.600 e 2.300 mm, com significativa variabilidade interanual [22,23]. Este estudo analisou 19 Terras Indígenas com base em arquivos *shapefile* oficiais disponibilizados pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas. Destas, 17 encontram-se ratificadas, enquanto as Terras Indígenas Kanela Memortumré e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra permanecem em processo de delimitação, e a Terra Indígena Governador encontra-se em fase de revisão de limites.

2.2. Fontes de Dados e Período de Análise

Este estudo integrou conjuntos de dados abertos e cartografia oficial com cobertura multitemporal. Foram utilizadas as séries anuais de uso e cobertura da terra da Coleção 9 do MapBiomias, referentes ao período de 1985 a 2023, com ênfase nas classes Formação Florestal (código de classe 3) e Formação Savânica (código de classe 4), conforme a legenda oficial. Os dados de ocorrência de fogo foram obtidos especificamente a partir do MapBiomias Fogo, Coleção 3, produto de Área Queimada Anual, para os anos de 1985 a 2023, com base em camadas anuais que representam a área queimada em cada ano.

Para a análise do desmatamento, foram utilizados dados do PRODES/INPE (<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br>, acesso em 12 de outubro de 2025), que disponibiliza mapas anuais de desmatamento para os biomas Amazônia e Cerrado no período de 2013 a 2023. Embora o PRODES possua registros anteriores, os dados de desmatamento no Cerrado anteriores a 2013 estão disponíveis apenas de forma bianual. Para garantir a consistência temporal da análise, esses dados anteriores não foram considerados.

As estimativas de estoques de carbono por compartimento incluindo biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, madeira morta e serapilheira foram derivadas de mapas de biomassa da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Os limites das Terras Indígenas (TIs) foram obtidos junto à FUNAI, e a cartografia base municipal foi fornecida pelo IBGE [18]. As informações contextuais qualitativas foram obtidas a partir de relatórios produzidos pelo Conselho Indigenista Missionário (CIMI), organização que monitora e documenta conflitos fundiários, invasões e violações de direitos indígenas em todo o Brasil. Todos os cálculos foram espacialmente restritos às geometrias oficiais das Terras Indígenas.

2.3. Ambiente Computacional, Projeções e Pré-processamento

Todas as análises geoespaciais foram realizadas na plataforma Google Earth Engine (GEE), que possibilitou o processamento das

séries temporais de longo prazo (1985–2023), o cálculo de áreas e a extração de informações de uso e cobertura da terra e de fogo. A organização adicional dos dados, as estatísticas descritivas e a geração das figuras foram realizadas em Python (v3.10), enquanto os layouts cartográficos finais foram elaborados no QGIS 3.22. Todas as análises seguiram a resolução espacial e a projeção nativas dos produtos MapBiomias, assegurando consistência metodológica entre os diferentes conjuntos de dados e ao longo dos anos analisados.

2.4. Recorrência do Fogo sobre Vegetação Estável

A recorrência do fogo foi estimada a partir do MapBiomias Fogo, Coleção 3. Cada banda anual foi binarizada, atribuindo-se valor 1 para áreas queimadas e 0 para áreas não queimadas, e o empilhamento temporal foi somado para gerar um raster de frequência absoluta de queima por pixel para o período de 1985 a 2023, com valores variando de 0 a 39. Esse raster foi recortado às geometrias das Terras Indígenas (TIs) e mascarado pelas camadas de vegetação estável, de modo que apenas os eventos de queima ocorridos sobre floresta estável e savana estável fossem contabilizados

2.5. Anos Críticos de Fogo e Quantificação das Áreas Queimadas

A identificação dos anos críticos de fogo e a quantificação das áreas queimadas por Terra Indígena (TI) seguiram três etapas complementares. Primeiramente, percorremos a série anual do MapBiomias Fogo para o período de 1985 a 2023, aplicamos máscaras de classe para Floresta (3) e Savana (4) e calculamos a área queimada anual, em hectares, para cada TI. Esse processamento resultou em uma tabela por TI contendo 39 registros anuais e permitiu a identificação automática do ano crítico, definido como o ano com a maior área queimada registrada em cada território, bem como a geração de um raster que espacializa esse ano. Em seguida, os picos anuais foram ordenados, as extensões queimadas nos anos críticos foram estimadas e foram destacadas as Terras Indígenas com maior acúmulo de área queimada ao longo de todo o período de estudo.

2.6. Trajetórias da Vegetação Natural e Anos Críticos de Perda Líquida

A dinâmica da vegetação natural nas Terras Indígenas foi analisada utilizando a Coleção 9 do MapBiomias. Para cada território e para cada ano no período de 1985 a 2023, foi calculada a área (em hectares) de Floresta e Savana, por meio da aplicação de máscaras de classe e da multiplicação pela camada de área de pixel no ambiente Google Earth Engine. Em seguida, foram calculadas as variações líquidas ano a ano, com o objetivo de identificar o ano mais crítico de perda, definido como aquele que apresentou a maior variação negativa em relação ao ano anterior. Essa abordagem também permitiu determinar as Terras Indígenas com as maiores

perdas acumuladas ao longo da série temporal e traçar trajetórias anuais para a comparação das tendências de redução das formações naturais ao longo dos 39 anos analisados..

2.7. Estimativas de Emissões de CO₂ Provenientes do Desmatamento e do Fogo

A estimativa dessas emissões baseou-se em metodologias internacionalmente reconhecidas, em especial nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), integradas a dados do MapBiomass e do PRODES.

A abordagem adotada fundamentou-se no Nível Nacional de Referência de Emissões Florestais do Brasil (National FREL) (de 2025), utilizado para Pagamentos por Resultados no âmbito do REDD+, conforme estabelecido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico empregado para estimar as emissões de gases de efeito estufa baseadas na biomassa em diferentes compartimentos florestais, em função de eventos de distúrbio. O processo tem início com o estoque inicial de carbono (Ano 0) e, para cada ano subsequente, identifica a ocorrência de incêndios florestais e/ou desmatamento.

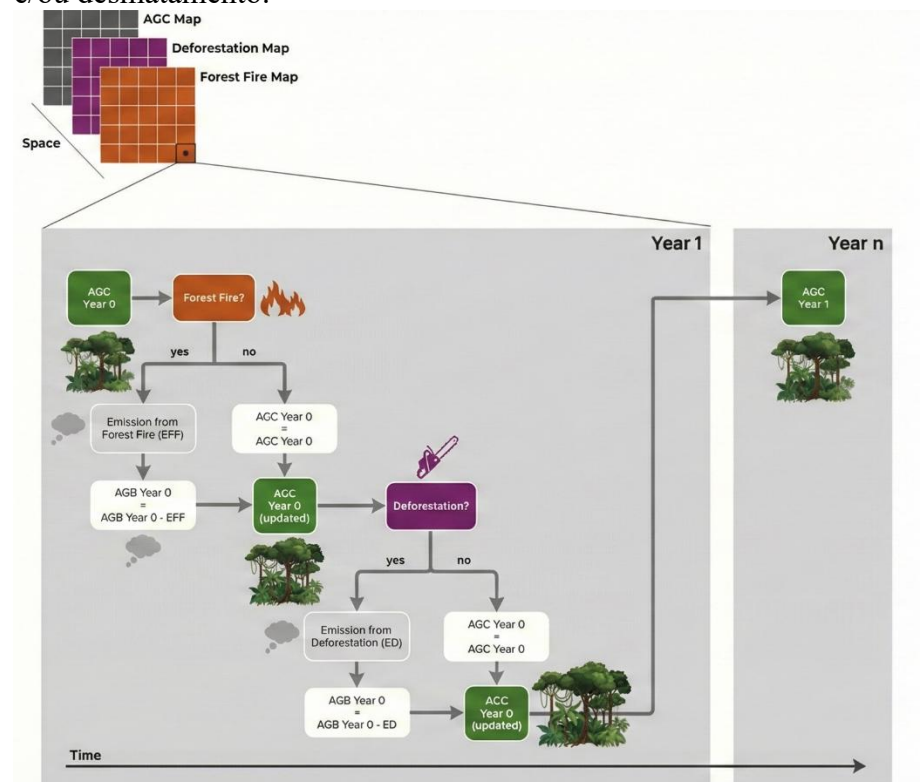


Figura 6. Figura 2. Fluxo metodológico para o cálculo das emissões de CO₂ a partir da biomassa acima do solo (AGB; aplicado aos demais compartimentos), em função de distúrbios florestais.

Quando tais eventos são detectados, o dióxido de carbono (CO₂) proveniente de incêndios florestais (EFF) ou do desmatamento (ED) é quantificado, e o estoque de carbono é atualizado de forma correspondente. Esse procedimento é aplicado

de maneira iterativa, ano a ano, até o último ano de análise (Ano n), permitindo o monitoramento das trajetórias temporais das emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), bem como das mudanças nos estoques de carbono.

Dessa forma, as equações a seguir foram utilizadas para o cálculo das emissões de CO_2 e de gases não- CO_2 . Para cada pixel i submetido ao desmatamento em cada ano (t), a emissão bruta de CO_2 associada é estimada por meio da Equação (1). As emissões brutas de gases não- CO_2 (CH_4 e N_2O) associadas ao desmatamento são estimadas por meio da Equação (2).

$$\text{Def}(\text{CO}_2)_{t,i} = A_{t,i} \times C_{t,i} \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

onde:

Def(CO_2) t,i : emissões de CO_2 (t CO_2) associadas ao desmatamento de um determinado pixel i em um dado ano t ;

A t,i : área (hectares) do pixel i no ano t ;

C t,i : estoque total de carbono (soma dos compartimentos AGB, BGB, LI e DW; t C ha^{-1}) do pixel i no ano t ;

44/12: fator de conversão utilizado para transformar carbono em CO_2 .

$$\text{Def}(\text{non-}\text{CO}_2)_{t,i} = A_{t,i} \times \frac{C_{t,i}}{0,47} \times E_f \times C_f \times 10^{-3} \quad (2)$$

onde:

Def(non- CO_2) t,i : emissões de CH_4 ou N_2O (t CO_2eq) associadas ao desmatamento de um determinado pixel i em um dado ano t ;

A t,i : área do pixel i no ano t ;

C t,i : estoque de carbono (soma dos compartimentos AGB, LI e DW; t C ha^{-1}) do pixel i no ano t ;

0,47: teor de carbono (t C por tonelada de matéria seca);

E_f: fator de emissão (g kg^{-1} de matéria seca), sendo 6,8 para CH_4 e 0,2 para N_2O ;

C_f: fator de combustão (adimensional), igual a 0,368 para o bioma Amazônia e 0,379 para o bioma Cerrado;

10^{-3} : fator de conversão de gramas para toneladas.

Para cada pixel i afetado por incêndio florestal em cada ano (t), a emissão bruta de CO_2 associada é estimada por meio da Equação (3), derivada da equação proposta por [24]. As emissões brutas de gases não- CO_2 (CH_4 e N_2O) provenientes de incêndios florestais são estimadas por meio da Equação (4).

Considerando que a equação original proposta por [24] foi definida em termos de biomassa, assumiu-se uma fração de carbono de 47% (fator adimensional de 0,47) para a biomassa acima do solo, conforme o FREL Nacional, a fim de estimar diretamente o carbono acima do solo pós-fogo (AGC). Assim, considera-se que $\text{AGC} = \text{AGB} \times 0,47$, tanto para as condições pré-fogo quanto pós-fogo. Isolando-se a biomassa acima do solo (AGB) como função do AGC

(AGB = AGC/0,47) e substituindo na Equação (3), obtêm-se as seguintes relações:

$$\begin{aligned} \text{AGB}_{\text{pós-fogo}} &= 0,0548 \times \text{AGB}_{\text{pré-fogo}}^{1,4702} \\ \frac{\text{AGC}_{\text{pós-fogo}}}{0,47} &= 0,0548 \times \left(\frac{\text{AGC}_{\text{pré-fogo}}}{0,47} \right)^{1,4702} \\ \text{AGC}_{\text{pós-fogo}} &= 0,0548 \times 0,47 \times \left(\frac{\text{AGC}_{\text{pré-fogo}}}{0,47} \right)^{1,4702} \\ \text{AGC}_{\text{pós-fogo}} &= 0,07816 \times \text{AGC}_{\text{pré-fogo}}^{1,4702} \\ \text{Fire}(\text{CO}_2)_{t,i} &= A_{t,i} \times (\text{AGC}_{\text{pré-fogo}} - \text{AGC}_{\text{pós-fogo}}) \times \frac{44}{12} \\ \text{Fire}(\text{CO}_2)_{t,i} &= A_{t,i} \times (\text{AGC}_{\text{pré-fogo}} - 0,07816 \times \text{AGC}_{\text{pré-fogo}}^{1,4702}) \times \frac{44}{12} \end{aligned}$$

onde:

Fire(CO₂) *t,i*: emissões de CO₂ (t CO₂) associadas ao incêndio florestal de um determinado pixel *i* em um dado ano *t*;

A *t,i*: área (hectares) do pixel ou polígono *i* no ano *t*;

AGC: estoque de carbono acima do solo (pré- ou pós-fogo);

44/12: fator de conversão utilizado para transformar carbono em CO₂.

As emissões brutas de gases não-CO₂ (CH₄ e N₂O) associadas aos incêndios florestais são estimadas por meio da Equação (4), conforme o FREL Nacional.

$$\text{Fire}(\text{non-CO}_2)_{t,i} = A_{t,i} \times \frac{C_{t,i}}{0,47} \times E_f \times C_f \times 10^{-3} \quad (4)$$

onde:

Fire(non-CO₂) *t,i*: emissões de CH₄ ou N₂O (t CO₂eq) associadas ao incêndio florestal de um determinado pixel *i* em um dado ano *t*;

A *t,i*: área do pixel *i* no ano *t*;

C *t,i*: estoque de carbono (soma dos compartimentos AGB, LI e DW; t C ha⁻¹) do pixel *i* no ano *t*;

0,47: teor de carbono (t C por tonelada de matéria seca);

E_f: fator de emissão (g kg⁻¹ de matéria seca), sendo 6,8 para CH₄ e 0,2 para N₂O;

C_f: fator de combustão (adimensional), igual a 0,368 para o bioma Amazônia e 0,379 para o bioma Cerrado;

10⁻³: fator de conversão de gramas para toneladas.

As emissões de gases de efeito estufa não-CO₂ foram convertidas em equivalentes de CO₂ (CO₂eq) utilizando os Potenciais de Aquecimento Global (GWP) de 100 anos do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC, aplicando-se os fatores 28 para o CH₄ e 265 para o N₂O, em conformidade com as diretrizes do IPCC guidelines [25].

3. Resultados e Discussão

3.1. Recorrência do Fogo nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão (1985–2023)

A análise dos dados de recorrência do fogo do MapBiomas Fogo, Coleção 3, abrangendo o período de 1985 a 2023 e restrita às classes de formação florestal e savânica, revela perfis marcadamente distintos entre as Terras Indígenas do Maranhão, tanto em termos de extensão espacial quanto de frequência de queima. O mapa de recorrência indica o número de vezes que cada pixel foi afetado pelo fogo ao longo da série histórica, permitindo a identificação dos territórios mais impactados e dos gradientes temporais de intensidade da recorrência (Figura 3).

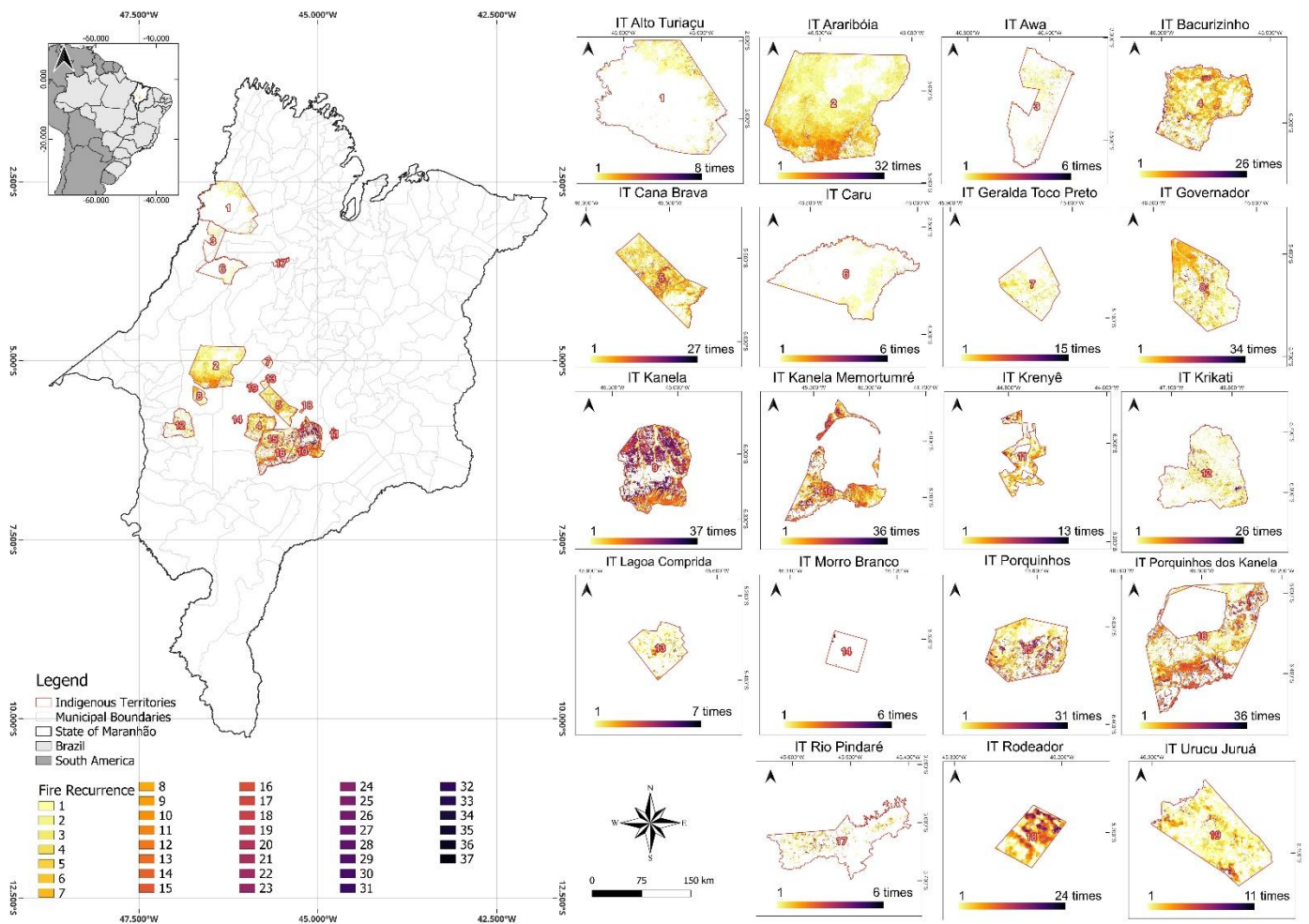


Figura 7. Figura 3. Mapa de recorrência de fogo nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão.

Entre os casos analisados, a Terra Indígena Araribóia apresenta a maior área total queimada, com aproximadamente 293.375 hectares. Os valores mais elevados de recorrência (20–32 eventos) concentram-se principalmente na porção sudeste do território. As regiões central, norte e noroeste exibem recorrência significativamente menor, com predomínio de 1–3 eventos, conforme indicado pelo mapeamento de frequência. Essa distribuição espacial sugere zonas de maior pressão associadas a

vetores externos, como áreas adjacentes de uso agropecuário ou proximidade a vias de acesso.

A Terra Indígena Bacurizinho (80.196 ha queimados) também se destaca pela recorrência do fogo. O número máximo de eventos registrados alcança 37 eventos, com as maiores concentrações localizadas ao longo da faixa central do território. Nessa área, a densidade de pixels de alta frequência é elevada, indicando persistência do fogo ao longo de décadas. As porções norte e oeste apresentam frequência reduzida, com predominância de eventos únicos ou duplos. Essa variação espacial pode estar relacionada à acessibilidade interna ou à presença de clareiras.

Na Terra Indígena Kanela Memortumré, observa-se uma distribuição ampla e relativamente homogênea de áreas com alta recorrência, particularmente nas metades sul e leste do território. A recorrência atinge até 36 eventos, com valores superiores a 20 eventos em diversos setores. As porções norte e sudoeste apresentam menor intensidade, concentrando-se entre 1 e 10 eventos. Os valores elevados ao longo de quase toda a metade inferior da TI sugerem a persistência de longo prazo do fogo em setores recorrentes.

A Terra Indígena Kanela apresenta padrão espacial semelhante, com os focos mais intensos localizados nas porções oeste e centro-sul, onde a recorrência alcança até 37 eventos. As áreas leste e nordeste mantêm valores mais baixos, com predominância de 1–5 ocorrências. As diferenças entre as regiões podem refletir tanto variações ambientais internas quanto interferências associadas ao uso da terra no entorno.

Na Terra Indígena Krikati, os focos de maior intensidade concentram-se na faixa sudoeste, com registros de até 34 eventos. A porção central apresenta recorrência intermediária, enquanto as bordas norte e leste exibem menor frequência. Na Terra Indígena Governador, a maior concentração ocorre na região centro-sul, com valores variando entre 25 e 34 eventos; nas bordas norte e oeste predominam queimadas de evento único.

As Terras Indígenas Cana Brava/Guajajara, Rodeador e Rio Pindaré também apresentam maior recorrência em suas zonas centrais. Em Cana Brava/Guajajara, os dados indicam até 27 eventos na porção centro-leste, com aparente redução em direção às extremidades. Rodeador e Rio Pindaré exibem padrão semelhante, com concentrações intermediárias a elevadas nas áreas centro-sul e menor intensidade ao longo das bordas.

Em contraste, Terras Indígenas como Alto Turiaçu, Awá, Caru e Lagoa Comprida apresentam predominantemente baixas taxas de recorrência. Em Alto Turiaçu, 78,3% das áreas queimadas foram afetadas apenas uma vez. A distribuição espacial mostra valores mais elevados (6–8 eventos) em pequenos núcleos no setor sul, enquanto a maior parte da área apresenta entre 1 e 3 ocorrências (Tabela 1). A Terra Indígena Awá, com 13.759 ha queimados, mantém padrão semelhante: a maior recorrência observada foi de 15 eventos, registrada em um único pixel, e a maior parte da área

queimou apenas uma vez. A Terra Indígena Caru apresenta recorrência máxima de 6 eventos na região centro-leste, com as demais áreas em níveis baixos. Já a Terra Indígena Lagoa Comprida atinge até 7 eventos, com as maiores concentrações na porção centro-sul.

Table 1. Summary of fire recurrence in forest formation and savanna formation across the Indigenous Territories of Maranhão State (1985–2023).

Indigenous Territory	Burned Area (ha)	1–3 Burns (%)	4–9 Burns (%)	≥10 Burns (%)	Max. Recurrence
Araribóia	293,375	66.4%	28.7%	4.9%	32
Porquinhos dos Canela- Apãnjekra	141,702	25.5%	27.6%	46.9%	36
Cana Brava	94,271	47.5%	44.7%	7.9%	27
Kanela	82,238	7.5%	11.7%	80.7%	37
Bacurizinho	80,196	43.7%	48.1%	8.2%	26
Alto Turiaçu	71,686	98.6%	1.4%	0.0%	8
Kanela Memortumré	64,530	16.4%	31.8%	51.8%	36
Porquinhos	39,201	38.0%	28.6%	33.4%	31
Krikati	38,291	71.9%	23.0%	5.1%	28
Governador	22,688	47.1%	43.4%	9.5%	34
Caru	21,654	99.8%	0.2%	0.0%	6
Awá	17,730	99.5%	0.5%	0.0%	6
Urucu/Juruá	7305	91.8%	8.1%	0.0%	11
Geralda Toco Preto	6179	98.3%	1.6%	0.1%	15
Lagoa Comprida	4718	96.9%	3.1%	0.0%	7
Krenyê	4437	73.9%	25.4%	0.6%	13
Rio Pindaré	1900	97.4%	2.6%	0.0%	6
Rodeador	1779	30.0%	44.3%	25.7%	24

A literatura em ecologia da paisagem enfatiza que os eventos de fogo tendem a se concentrar ao longo das bordas florestais, especialmente em áreas fragmentadas por estradas, ramais de exploração madeireira ou outras formas de ocupação humana [26,27]. Essas bordas são caracterizadas por maior exposição solar, redução da umidade do solo e do ar, aumento do acúmulo de material combustível e maior conectividade com áreas externas sujeitas à ignição. Tais fatores contribuem para uma maior suscetibilidade à propagação do fogo e para sua recorrência ao longo do tempo. Nos resultados obtidos, Terras Indígenas como Araribóia, Krikati, Governador e Kanela Memortumré apresentam focos de fogo de alta recorrência localizados em zonas de borda ou em faixas lineares de acesso, enquanto o interior dos territórios, quando mais contínuo, tende a manter menores frequências de queima.

Além disso, a distribuição dos eventos de fogo está associada à localização regional das Terras Indígenas. Aquelas situadas no norte do Maranhão (Alto Turiaçu, Awá, Caru e Lagoa Comprida) apresentam recorrência reduzida, enquanto as localizadas no sul do estado (Bacurizinho, Kanela, Krikati, Governador e Rodeador)

concentram valores mais elevados. Esse padrão espacial coincide com a inserção dessas áreas na fronteira do MATOPIBA, região marcada pela expansão agropecuária e pelo maior uso do fogo como técnica de manejo. Estudos anteriores indicam que a proximidade de áreas de pastagem ou de áreas desmatadas influencia diretamente a frequência de incêndios em territórios indígenas adjacentes [28].

3.2. Mapeamento dos Anos de Pico da Área Queimada nas Terras Indígenas do Maranhão (1985–2023)

Foram analisadas dezenove Terras Indígenas no Maranhão no período de 1985 a 2023, com o objetivo de identificar, para cada TI, o ano de maior área queimada (pico) e quantificar sua magnitude. Entre as 19 TIs, o ano de 2015 foi o mais recorrente como ano de pico (seis territórios, incluindo Araribóia, Krikati e Kanela), seguido por 2016 (cinco TIs, como Alto Turiaçu, Awá, Caru e Rodeador) e 2017 (quatro TIs: Cana Brava, Governador, Lagoa Comprida e Morro Branco). Os anos de 2012 e 2014 concentraram picos nas Terras Indígenas Kanela Memortumré e Porquinhos dos Kanela, enquanto 2014 também se destacou como ano crítico para Bacurizinho. Por fim, os anos de 2004, 2002 e 1992 ocorreram de forma isolada (Figura 4).

Entre os territórios mais afetados, a Terra Indígena Bacurizinho registrou aproximadamente 60.000 ha queimados em 2014 (72,8%), seguida por Cana Brava/Guajajara, com 75.206 ha em 2017 (54,8%), e Urucu/Juruá, com 6.902 ha em 2017 (54,4%). A Terra Indígena Kanela apresentou 52.183 ha queimados em 2015 (41,7%), enquanto a Terra Indígena Araribóia registrou 200.652 ha queimados em 2015 (48,6%). Considerando que esse cálculo se restringe às classes de floresta e savana, é provável que a área efetivamente afetada tenha superado 50% quando incluídas outras classes de uso e cobertura da terra.

A queima concentrou-se na Terra Indígena que abrange o município de Amarante (MA), resultando no maior incêndio florestal já registrado na região e, dentro da janela temporal de 1985 a 2023, no valor mais expressivo entre as 19 Terras Indígenas analisadas. Diante da escalada dos incêndios, em 8 de outubro de 2015, o Governo do Estado decretou situação de emergência em 11 Terras Indígenas em razão da multiplicação de focos de calor [29].

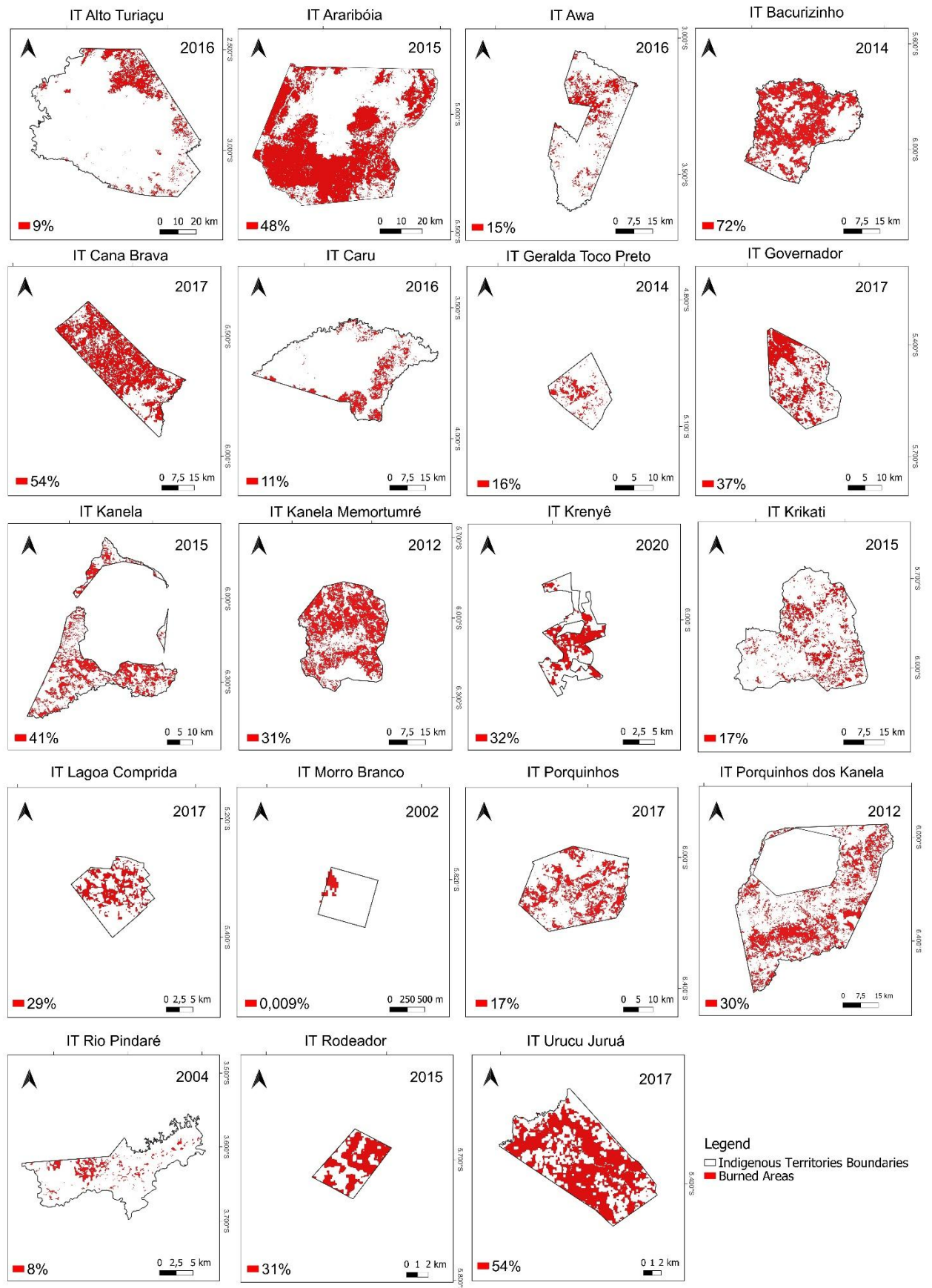


Figura 8. Figura 4. Anos críticos de áreas queimadas nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil (1985–2023). A cor vermelha representa

a área total queimada entre 1985 e 2023.

Durante o período crítico, o fogo avançou por mais de 20 dias sobre o “coração da mata” da Terra Indígena, prolongando-se por cerca de dois meses e sendo extinto apenas com o início das chuvas, apesar dos esforços de combate. Aproximadamente 300 pessoas foram mobilizadas (IBAMA/Prevfogo, Corpo de Bombeiros e FUNAI), e as comunidades, especialmente os Guardiões da Floresta, atuaram na abertura de aceiros, no uso de abafadores manuais e na vigilância territorial; o controle efetivo coincidiu com a mudança das condições meteorológicas [30].

Os impactos sociais e culturais foram imediatos, uma vez que a perda de áreas de caça e coleta afetou diretamente os grupos Awá-Guajá, tanto aqueles de contato recente quanto os em isolamento voluntário, cuja subsistência depende exclusivamente da floresta. Em aldeias próximas ao município de Arame, como Jussaral, casas foram destruídas pelos incêndios; contudo, lideranças locais enfatizaram que a perda mais severa foi a devastação da floresta, já fragilizada pela exploração madeireira ilegal, por afetar espécies de importância alimentar, medicinal e simbólica [31]. Durante as operações de combate, indivíduos Awá-Guajá em isolamento voluntário foram observados nas proximidades das áreas queimadas tentando conter o fogo, o que evidencia a gravidade da situação [32].

Ademais, a Terra Indígena Araribóia figura historicamente entre as mais pressionadas, enfrentando conflitos fundiários, grilagem de terras, exploração madeireira ilegal e o assassinato de lideranças indígenas. Nesse contexto, os Guardiões da Floresta têm se organizado para a proteção do território [30,33].

A sincronização dos anos de pico de incêndios entre 2015 e 2017 corresponde ao evento El Niño de 2015–2016, que reduziu a precipitação e elevou as temperaturas no Norte e Nordeste do Brasil, ampliando a inflamabilidade dos combustíveis e estendendo a janela de propagação do fogo [34–36] (Figura 5). A severidade dos incêndios também está associada à baixa umidade do solo e à redução da resiliência da vegetação, particularmente na Amazônia oriental [37,38]. Esse contexto mais amplo ajuda a explicar a simultaneidade dos picos mesmo onde faltam relatos locais detalhados, ao interagir com pressões de fronteira como exploração madeireira ilegal, grilagem, expansão agropecuária e com diferenças na matriz de vegetação: savanas do Cerrado são mais propensas ao fogo, enquanto florestas degradadas por bordas, estradas e clareiras tornam-se progressivamente mais contínuas em termos de material combustível disponível [39–41].

No caso da Terra Indígena Krikati, com 145.000 ha, verificou-se que, em 2015, 25.623 ha foram queimados, incluindo 6.100 ha de floresta e 19.522 ha de savana, o que corresponde a 17,7% do território. Assim, a predominância da queima em áreas savânicas evidencia a vulnerabilidade desses ambientes durante anos de seca severa e sob intensificação das pressões fundiárias.

No Mosaico do Gurupi, que inclui as Terras Indígenas Alto Turiaçu, Awá, Caru, Rio Pindaré e Araribóia, também foram

observadas extensas áreas queimadas. Em particular, identificou-se que a Terra Indígena Alto Turiaçu apresentou aumento progressivo entre 2015 e 2016, atingindo 52.932 ha de floresta queimada em 2016 (10% de seus 530.524 ha). De forma semelhante, a Terra Indígena Awá registrou seu pico em 2016, com 18.223 ha de floresta queimados (15,6% de sua área), enquanto a Terra Indígena Caru alcançou 20.513 ha (11,9%) no mesmo período. Em 2017, a Terra Indígena Lagoa Comprida registrou 3.957 ha de floresta queimada, o equivalente a 30% de seu território. Os impactos comprometeram rotas de circulação, áreas de coleta e espaços sagrados dos povos Ka'apor e dos grupos Awá-Guajá de contato recente. Na Terra Indígena Awá, parte dos incêndios foi atribuída a represálias após ações de desocupação de terras, com reacesos em áreas previamente controladas [42].

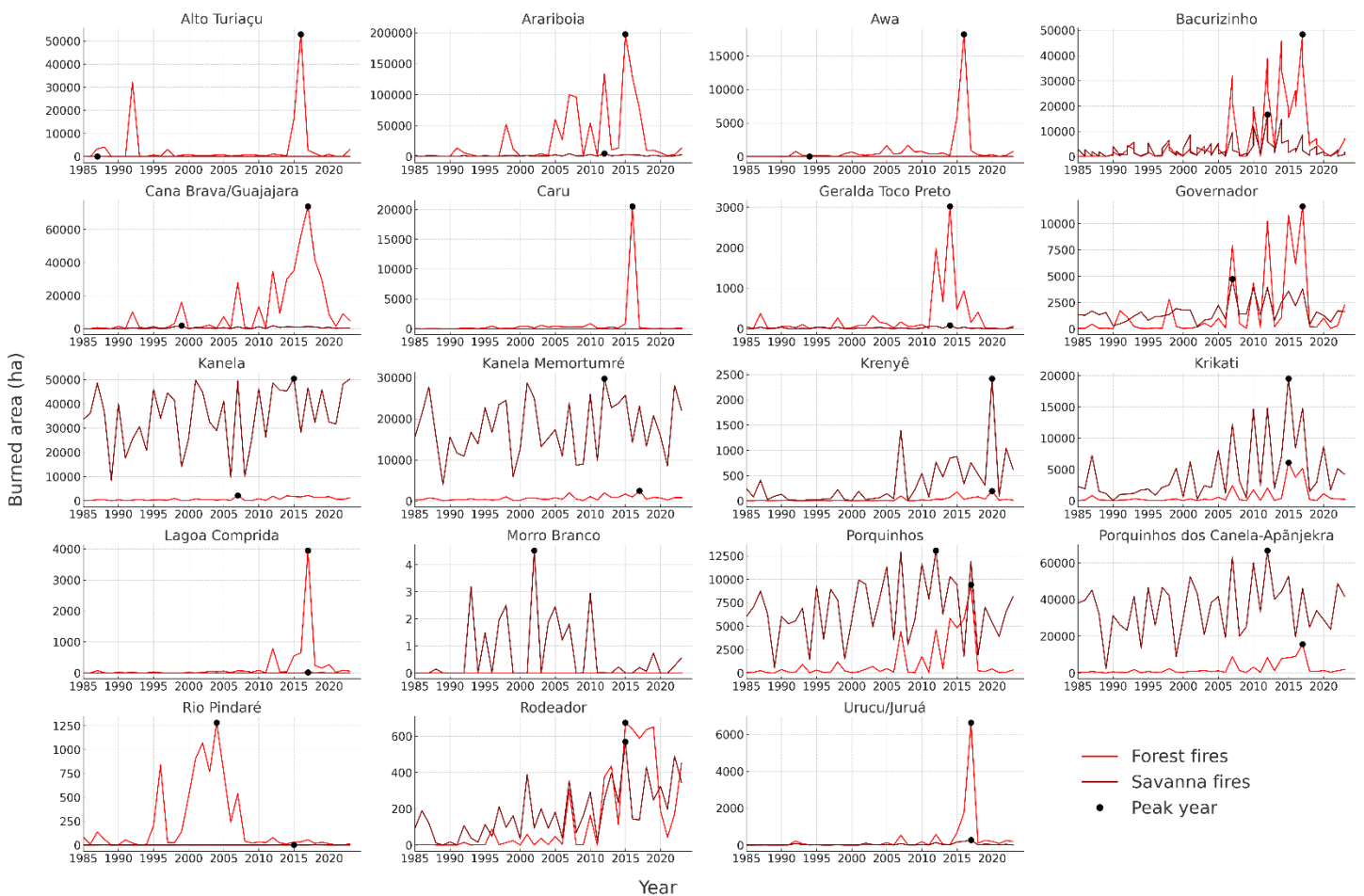


Figura 9. Figura 5. Área total anual queimada em formações florestais e savânicas nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil, no período de 1985 a 2023

Fora do Mosaico do Gurupi, o ciclo de 2015–2017 também impactou de forma significativa Terras Indígenas caracterizadas por formações savânicas. Em 2015, a Terra Indígena Kanela registrou 46.996 ha queimados (46.714 ha de savana e 282 ha de floresta), o que representa 37,5% de sua área total de 125.212 ha. Nesse mesmo ano, o Maranhão contabilizou 30.066 focos de calor, ficando atrás apenas do Pará e do Mato Grosso [43]. Nesse contexto, a elevada

densidade de incêndios em Kanela foi associada ao uso recorrente do fogo por madeireiros e pecuaristas como forma de pressão fundiária e de expansão de pastagens ilegais [30,39,40,44].

Em 2017, três Terras Indígenas atingiram seus maiores valores de área queimada: Cana Brava, com 75.205 ha de floresta (54,8% de 137.329 ha); Governador, com 15.416 ha (37,0% de 41.643 ha); e Lagoa Comprida, com 3.957 ha de floresta (30% de 13.198 ha). Mesmo na ausência de relatórios detalhados sobre causas e dinâmicas de propagação, os efeitos residuais da seca após o El Niño, o acúmulo de material combustível e as pressões de borda contribuem para explicar a severidade desses eventos [36]. Em 2002, a Terra Indígena Morro Branco registrou 4 ha de floresta queimada, equivalentes a 8,2% de seus 49 ha, em um contexto de extrema fragmentação e condições favoráveis à propagação do fogo.

Picos anteriores também evidenciam a interação entre pressões antrópicas e a sazonalidade regional. Em 2014, a Terra Indígena Bacurizinho registrou 60.478 ha queimados (45.805 ha de floresta e 14.673 ha de savana), equivalentes a 73,4% de sua área total de 82.432 ha, indicando uma vulnerabilidade estrutural já elevada às vésperas do El Niño de 2015–2016 [43]. Em 2012, a Terra Indígena Kanela Memortumré registrou 31.769 ha queimados (31,7% de 100.221 ha) em um território recentemente delimitado [45], com 96,6% de cobertura savânica, condição que favorece a rápida propagação do fogo. No mesmo ano, a Terra Indígena Porquinhos dos Kanela registrou 66.645 ha queimados exclusivamente em savana (30,2% de 221.000 ha).

A Terra Indígena Geralda Toco Preto também apresentou um evento significativo em 2014, com 3.106 ha de floresta queimados, de um total de 19.000 ha. Embora não exista um dossiê causal específico para esse ano, o padrão regional de uso intencional do fogo, combinado com a estação seca e os efeitos de borda associados à fragmentação, fornece uma explicação consistente [46]. Em 2004, a Terra Indígena Rio Pindaré teve 1.281 ha de floresta queimados (8,54% de seus 15.000 ha), ampliando ainda mais sua vulnerabilidade histórica. Em 2016, essa TI já havia perdido 56% de sua cobertura florestal original, tornando-se o território mais desmatado dentro do Mosaico do Gurupi [47,48].

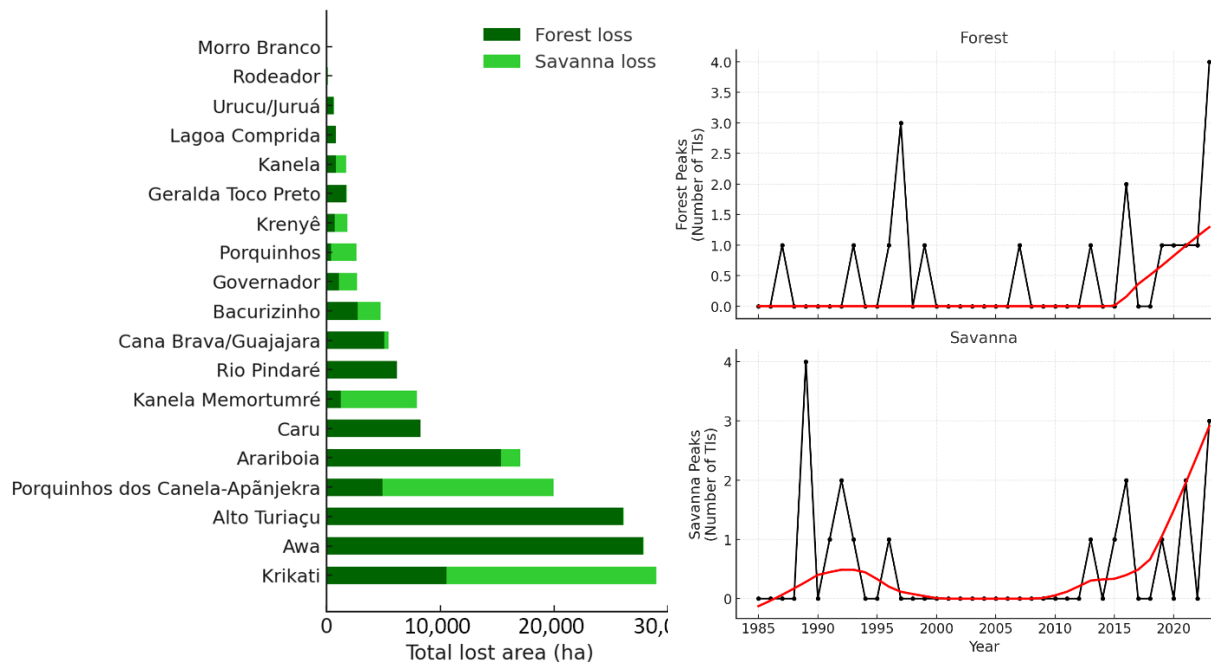
Em 2020, a Terra Indígena Krenyê registrou 2.615 ha de vegetação queimada, equivalentes a 32,6% de sua área total de 8.035 ha. Esse resultado sugere a recorrência de queimadas sobre as mesmas áreas. Krenyê é um território integralmente dominado por formações savânicas, oficialmente demarcado em 2018 [48], com supressão acumulada da vegetação superior a 2.800 ha até 2020. Situa-se em uma zona de transição Cerrado–floresta que tem apresentado aumento expressivo no número de focos de calor.

Do ponto de vista climático, o El Niño de 2015–2016 atuou como um importante fator agravante ao reduzir a precipitação, elevar as temperaturas e aumentar a inflamabilidade dos combustíveis, sincronizando os picos de incêndio em todo o Maranhão [34,36,38]. Ainda assim, as principais fontes de ignição

são consistentemente humanas e, muitas vezes, de caráter criminoso, envolvendo represálias após ações de desocupação, abertura de áreas para exploração madeireira ilegal, grilagem coercitiva e expansão de pastagens. Esse diagnóstico é corroborado por evidências de linhas artificiais de fogo, reacesos logo após a supressão e coincidência temporal entre as queimadas e picos de conflito territorial [30,42,44]. Embora as áreas de transição Amazônia–Cerrado sejam altamente suscetíveis ao fogo, o clima, por si só, não determina sua ocorrência. O fogo requer uma fonte de ignição, quase sempre antrópica, especialmente durante a estação seca [49].

Na zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado, as transformações ambientais afetam os povos indígenas não apenas em termos de subsistência, mas também nas dimensões simbólica e cosmológica de suas vidas, uma vez que a natureza e seus seres são fundamentais para sua organização sociocosmológica [50]. Em última instância, os impactos extrapolam a dimensão material. Nas cosmologias indígenas da região, compreendidas como sistemas de conhecimento que explicam as relações entre humanos, animais, plantas e espíritos, todos esses seres são considerados parentes, cada qual desempenhando papéis alimentares, curativos e espirituais. Esses seres habitam um mundo compartilhado, composto por múltiplos sujeitos conectados por relações de reciprocidade. Assim, quando a floresta queima, não é apenas a vegetação que se perde, mas também a rede de vínculos que sustenta a vida, a memória e a espiritualidade das comunidades indígenas [32,51].

3.3. Dinâmica da cobertura vegetal no Maranhão e impactos nos territórios indígenas (1985–2023)



(a) **(b)**
Figura 10. Figura 6. (a) Perda total de vegetação (florestal e savânica) em

cada Terra Indígena do Maranhão entre 1985 e 2023. O gráfico destaca a distribuição espacial das perdas acumuladas, identificando os territórios mais afetados e indicando a magnitude da supressão vegetal ao longo do período analisado.

A Série temporal do número de Terras Indígenas que registraram seu ano de pico de perda de formações florestais e savânicas entre 1985 e 2023. Cada ponto representa a quantidade de territórios que coincidiram em atingir seu máximo anual de perda em determinado ano, evidenciando períodos de maior concentração de eventos críticos e revelando a variabilidade temporal da pressão antrópica sobre esses territórios.

Em termos absolutos, os territórios mais afetados foram Krikati (29.016 ha, sendo 63,6% em savana), Awá (27.913 ha, predominantemente em formações florestais) e Alto Turiaçu (26.132 ha, floresta). Bacurizinho registrou 25.063 ha de perda, com composição equilibrada entre floresta e savana. Em comparação, Porquinhos dos Canela-Apãnjekra perdeu 19.970 ha, dos quais 75,4% ocorreram em savana, enquanto Araribóia perdeu 17.043 ha, com 89,9% da área em formações florestais. Valores intermediários foram observados em Caru (8.261 ha), Kanela Memortumré (7.943 ha, savana), Rio Pindaré (6.186 ha, floresta) e Cana Brava/Guajajara (5.436 ha). Perdas mínimas ocorreram em Morro Branco (38 ha), Rodeador (151 ha), Urucu/Juruá (651 ha), Lagoa Comprida (849 ha) e Kanela (1.735 ha). É fundamental reconhecer que a exploração madeireira frequentemente atua como porta de entrada para a degradação, por meio da abertura de ramais, da remoção de madeira de alto valor comercial e da subsequente expansão do corte raso e do uso do fogo, intensificando ainda mais as pressões sobre esses territórios [48,53].

Quando as perdas são mensuradas em relação à área total de cada território, emergem contrastes relevantes. Rio Pindaré perdeu 41,2% de sua área, seguido por Bacurizinho (30,4%), Krenyê (22,6%) e Krikati (20,0%). Em contraste, Terras Indígenas de maior extensão, como Porquinhos dos Canela-Apãnjekra (6,6%) e Alto Turiaçu (4,9%), apresentam percentuais proporcionalmente menores, apesar de valores absolutos expressivos. A dimensão temporal da perda de vegetação é apresentada na Figura 6b, que mostra a série temporal do número de Terras Indígenas que atingiram seu ano de maior perda entre 1985 e 2023. Essa figura evidencia a concentração de eventos críticos em janelas específicas, nas quais múltiplos territórios registraram simultaneamente suas perdas máximas, revelando a variabilidade temporal das pressões antrópicas.

Em nível territorial, a análise temporal confirma esses padrões. Entre as Terras Indígenas dominadas por florestas, os principais picos foram observados em Awá em 2007 (4.148,3 ha), Caru em 1997 (2.351,7 ha), Araribóia em 2021 (2.982,8 ha) e Rio Pindaré em 2022 (1.893,0 ha). Bacurizinho apresentou um pico em 2019 (2.325,7 ha), com maior contribuição florestal nesse ano e predominância de savana em 2004. Nas Terras Indígenas dominadas por savanas, as maiores áreas foram registradas em Krikati em 2016

(2.905,9 ha), Porquinhos em 2023 (710,4 ha) e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra em 2023 (4.279,2 ha, além de 1.016,9 ha de floresta no mesmo ano). Em Alto Turiaçu, o pico máximo ocorreu em 2023 (2.894,1 ha de floresta), enquanto Kanela Memortumré também apresentou aumento recente em 2023 (1.330,7 ha, com composição mista). Esses resultados estão detalhados na Figura 7, que apresenta as perdas anuais de vegetação florestal e savânica para cada Terra Indígena.



Figura 11. Figura 7. Perda anual de formações florestais e savânicas por Terra Indígena no Maranhão, Brasil (1985–2023).

Apesar das perdas acumuladas, os remanescentes de vegetação no interior das Terras Indígenas do Maranhão totalizavam aproximadamente 2.029.771 hectares em 2023, dos quais cerca de 1.639.991 hectares (80,8%) correspondiam a formações florestais e 389.780 hectares (19,2%) a formações savânicas. Entre as áreas remanescentes mais expressivas destacam-se Alto Turiaçu (aproximadamente 501.795 ha, floresta), Araribóia (cerca de 390.108 ha, floresta), Porquinhos dos Canela-Apãnjekra (aproximadamente 200.594 ha, predominantemente savana), Caru (cerca de 167.933 ha, floresta) e Cana Brava/Guajajara (aproximadamente 131.867 ha, floresta). Essas áreas configuram mosaicos estratégicos de conservação em meio ao avanço do desmatamento e à fragmentação florestal em curso [41]. A Figura 8

apresenta os remanescentes florestais por território nas Terras Indígenas do Maranhão em 2023.

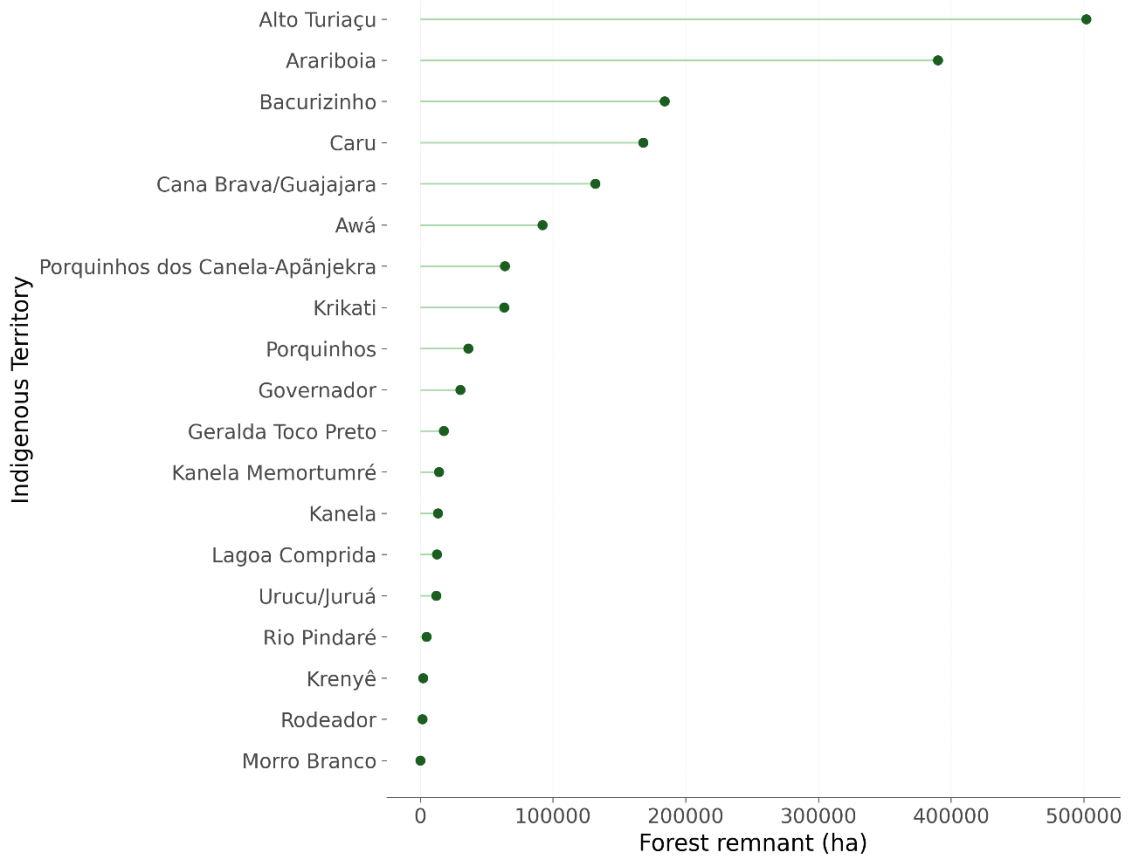


Figura 12. Figura 8. Remanescentes florestais (ha) nas Terras Indígenas do Maranhão em 2023.

As Terras Indígenas funcionam como escudos eficazes contra o desmatamento, com potencial para reduzir a perda de vegetação em até 66% quando os direitos territoriais são plenamente garantidos [52]. No entanto, invasões associadas à exploração madeireira ilegal e à caça predatória por agentes não indígenas intensificam as pressões sobre esses territórios. Na Terra Indígena Governador, esse processo afeta diretamente a segurança alimentar, uma vez que a caça constitui a base da dieta do povo Gavião, além de comprometer práticas culturais, já que a atividade cinegética desempenha papel central em rituais e festividades [54].

3.4. Emissões de CO₂ nas Terras Indígenas do Estado do Maranhão (2013–2023)

As Terras Indígenas brasileiras desempenham papel fundamental na conservação ambiental e na mitigação das mudanças climáticas. Essas áreas apresentam taxas de desmatamento significativamente mais baixas em razão das práticas sustentáveis de manejo adotadas pelos povos indígenas, que favorecem a preservação da biodiversidade e a manutenção de estoques substanciais de carbono, essenciais para o sequestro e o armazenamento de CO₂ atmosférico [55]. Nas últimas décadas, contudo, esse cenário vem passando por mudanças progressivas em

decorrência do aumento das pressões externas, incluindo a expansão agropecuária, a exploração ilegal de recursos naturais e o uso descontrolado do fogo. Esses fatores têm levado à elevação das taxas de desmatamento, à intensificação dos incêndios florestais e, conseqüentemente, ao aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) [35].

No estado do Maranhão, os 19 territórios analisados neste estudo somam 2.029.771 hectares de vegetação remanescente, o que representa 41,7% de todas as áreas protegidas do estado quando consideradas conjuntamente as Terras Indígenas e as Unidades de Conservação. Esse dado evidencia o papel estratégico dessas terras como reservatórios de carbono em escala estadual. A intensidade de emissões foi mensurada em toneladas de dióxido de carbono por hectare (tCO₂/ha), calculada para cada Terra Indígena a partir da soma das emissões oriundas do desmatamento e dos incêndios florestais mapeados no interior de seus limites. Esse procedimento garantiu que apenas os eventos efetivamente registrados dentro de cada TI fossem contabilizados.

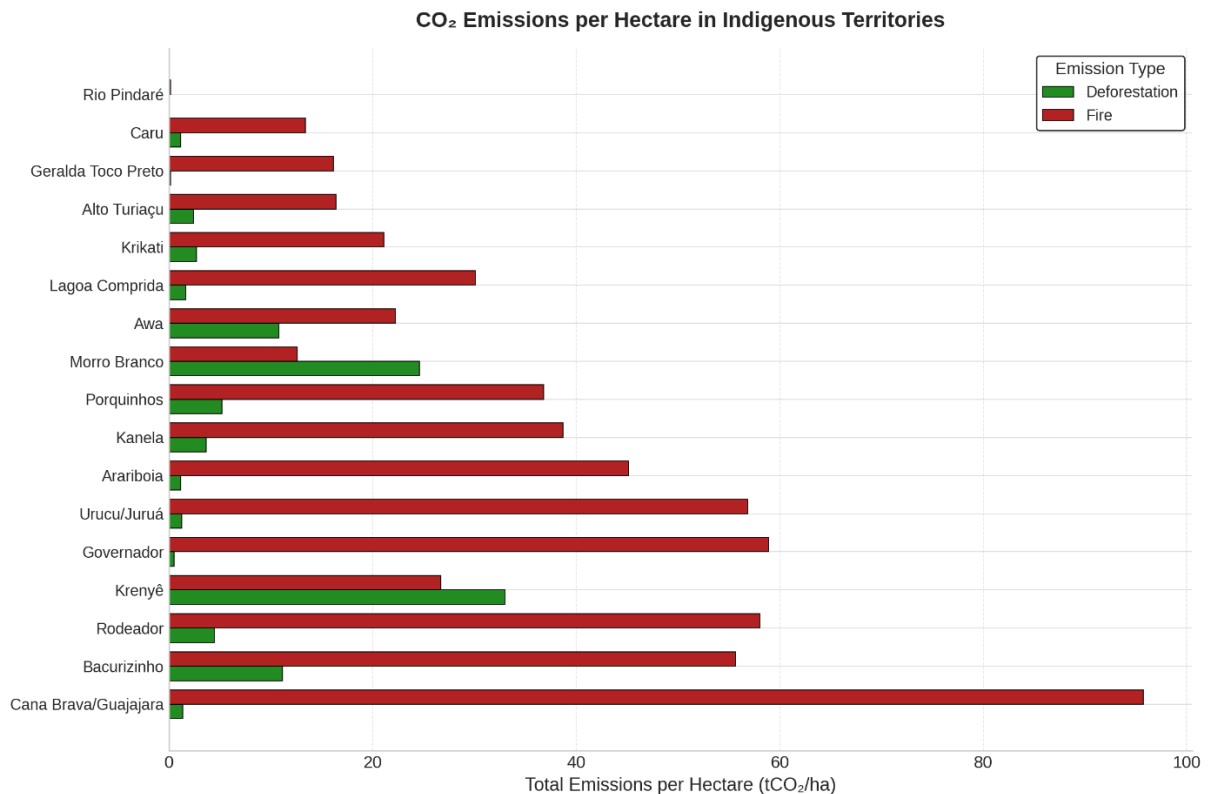


Figura 13. Figura 9. Emissões de CO₂ por hectare nas Terras Indígenas do Maranhão, Brasil, no período de 2013–2023.

A análise indica que as maiores intensidades de emissão ocorreram nas Terras Indígenas Cana Brava/Guajajara (97,12 tCO₂/ha; sendo 1,38 provenientes do desmatamento e 95,74 do fogo), Bacurizinho (66,84; 11,17 e 55,67), Rodeador (62,51; 4,44 e 58,07), Krenyê (59,75; 33,02 e 26,73) e Governador (59,40; 0,49 e 58,91). Em seguida, destacam-se Urucu/Juruá (58,15; 1,27 e 56,89), Araribóia (46,34; 1,14 e 45,19), Kanela (42,39; 3,66 e 38,73),

Porquinhos (42,04; 5,20 e 36,84) e Morro Branco (37,27; 24,64 e 12,63). Outros territórios também apresentaram valores relevantes: Awá (33,06; 10,80 e 22,26), Lagoa Comprida (31,78; 1,66 e 30,12), Krikati (23,83; 2,71 e 21,13), Alto Turiaçu (18,81; 2,41 e 16,40), Geralda Toco Preto (16,33; 0,14 e 16,19), Caru (14,54; 1,14 e 13,40) e Rio Pindaré (0,16, exclusivamente associado ao fogo) (Figura 9).

A evolução temporal confirma esse padrão. Considerando conjuntamente todas as Terras Indígenas, os maiores totais anuais de emissões foram registrados em 2015 (22,46 milhões de toneladas de CO₂, das quais 21,63 milhões provenientes do fogo), em 2016 (21,60 milhões; 21,12 milhões do fogo) e em 2014 (13,70 milhões; 12,63 milhões do fogo). Nos mesmos anos, as intensidades médias também atingiram seus valores máximos, alcançando 8,91 tCO₂/ha em 2015, 7,88 em 2016 e 7,81 em 2017. Assim, 2015 e 2016 se destacam tanto em termos de volumes absolutos quanto de intensidades relativas, com forte predominância das emissões associadas ao fogo. Esse padrão é consistente com a literatura que relaciona o El Niño de 2015–2016 e as secas severas ao aumento significativo das áreas queimadas e das emissões na Amazônia [35,55–58].

No período de 2013 a 2023, as Terras Indígenas do Maranhão responderam por aproximadamente 605 milhões de toneladas de CO₂ provenientes de incêndios florestais e 104 milhões de toneladas associadas ao desmatamento. Esses resultados reforçam a importância dos indicadores de tCO₂/ha para distinguir níveis de pressão e risco entre os territórios, em consonância com as diretrizes do IPCC e com as práticas nacionais de monitoramento [59,60]. Nesse contexto, a predominância do fogo sugere que estratégias de prevenção, preparação e manejo integrado do fogo podem constituir os meios mais eficazes para reduzir as emissões médias por área, especialmente em anos de seca.

O fogo é uma ferramenta amplamente utilizada para a transformação e conversão de áreas por diferentes povos e culturas desde os primeiros registros históricos [61]. De modo geral, o manejo do fogo realizado por populações indígenas deve ser diferenciado daquele promovido por agentes externos não indígenas. Entre os povos indígenas, o uso do fogo está integrado a um conjunto de diretrizes de ordenamento do uso da terra, sendo empregado para fertilizar o solo e abrir áreas destinadas a cultivos específicos, com base no conhecimento acumulado e na responsabilidade dos mais velhos [15].

Uma alternativa aos incêndios florestais descontrolados tem sido a retomada do uso tradicional do fogo com fins de preservação ambiental [62]. As pesquisas e os projetos desenvolvidos a partir dessas reflexões contribuíram para a criação da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, em 2012, e, posteriormente, para o Manejo Integrado do Fogo em Terras Indígenas [63]. Ademais, a concentração de valores críticos em 2015 e 2016 evidencia a necessidade de planos sazonais de gestão que integrem o monitoramento de secas, sistemas de alerta de risco, restrições

temporárias ao uso do fogo e o fortalecimento da capacidade de resposta local.

4. Conclusão

Os resultados deste estudo demonstram que as Terras Indígenas do Maranhão, situadas na zona de transição Amazônia–Cerrado e inseridas na fronteira agrícola do MATOPIBA, constituem territórios de excepcional importância socioambiental, embora estejam submetidas a pressões crescentes. O fogo e o desmatamento emergem não apenas como vetores de transformação da paisagem, mas também como forças que rompem a continuidade dos modos de vida indígenas, comprometendo a segurança alimentar, degradando recursos florestais e exacerbando padrões de violência contra os povos indígenas e suas lideranças.

A análise evidencia dinâmicas espaciais e temporais distintas entre os territórios. Enquanto as Terras Indígenas localizadas na porção norte do estado, como Alto Turiaçu, Awá e Caru, mantêm extensas áreas florestais contínuas, com menores taxas de perda e recorrência do fogo, aquelas situadas no sul e sudeste, incluindo Bacurizinho, Kanela, Krikati e Governador, concentram os eventos mais críticos, refletindo sua inserção em zonas de rápida expansão agropecuária. Essa heterogeneidade ressalta que estratégias de prevenção e manejo não podem ser uniformes, devendo ser calibradas às dinâmicas específicas de cada território, integrando conhecimentos ecológicos tradicionais a ferramentas contemporâneas de monitoramento e governança.

A contabilização sistemática de eventos de fogo, desmatamento e emissões no interior das Terras Indígenas, como realizada neste estudo, é fundamental para avaliar a magnitude dos impactos, identificar áreas prioritárias para intervenção e subsidiar políticas de conservação e gestão territorial. Apesar das perdas acumuladas, os remanescentes florestais e savânicos nas Terras Indígenas funcionam como mosaicos estratégicos de conservação e importantes reservatórios de carbono, cuja manutenção é crucial para a estabilidade climática regional e para o cumprimento de compromissos globais de mitigação.

Por fim, embora os conjuntos de dados e os métodos aplicados apresentem elevada robustez, este estudo possui algumas limitações que devem ser reconhecidas. Primeiramente, a resolução espacial dos produtos de sensoriamento remoto pode restringir a detecção de distúrbios de pequena escala e de eventos pontuais de desmatamento ou incêndios florestais, resultando em estimativas conservadoras em paisagens heterogêneas. Em segundo lugar, incertezas associadas aos fatores de emissão e de combustão, bem como aos mapas de carbono, podem se propagar para as estimativas finais de emissões, como é comumente reportado em avaliações em larga escala dessa natureza. Pesquisas futuras que integrem dados de maior resolução espacial, calibração de campo aprimorada e fatores de emissão mais espacialmente explícitos poderão reduzir essas incertezas e aprimorar a precisão das estimativas, fortalecendo ainda mais a base

científica para a gestão territorial e a formulação de políticas públicas.

Financiamento: Este estudo contou com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA (Processo BM-03056/24) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processos 304664/2024-3, 400634/2024-4 e 401741/2023-0). Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

Conflito de Interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

1. Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Borma, L.S.; Castilla-Rubio, J.C.; Silva, J.S.; Cardoso, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2016**, *113*, 10759–10768. [CrossRef] [PubMed]
2. Silva, J.M.C.; Bates, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. *BioScience* **2002**, *52*, 225–234. [CrossRef]
3. Bustamante, M.M.; Roitman, I.; Aide, T.M.; Alencar, A.; Anderson, L.O.; Aragão, L.; Asner, G.P.; Barlow, J.; Berenguer, E.; Chambers, J.; et al. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical savanna and forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Glob. Change Biol.* **2016**, *22*, 92–109. [CrossRef]
4. Lapola, D.M.; Martinelli, L.A.; Peres, C.A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferreira, M.E.; Nobre, C.A.; Aguiar, A.P.D.; Bustamante, M.M.C.; Cardoso, M.F.; Costa, M.H.; et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nat. Clim. Change* **2014**, *4*, 27–35. [CrossRef]
5. Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **2000**, *403*, 853–858. [CrossRef]
6. Aragão, L.E.O.C.; Malhi, Y.; Roman-Cuesta, R.M.; Saatchi, S.; Anderson, L.O.; Shimabukuro, Y.E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophys. Res. Lett.* **2007**, *34*, L07701. [CrossRef]
7. Alves, D.B.; Alvarado, S.T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. *Geografia* **2019**, *44*, 321–345. [CrossRef]
8. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Monitoramento do Desmatamento e das Queimadas na Amazônia e no Cerrado*; INPE: São José dos Campos, Brasil, 2023. Available online: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br> (accessed on 8 August 2025).
9. Instituto Socioambiental (ISA); Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). *Situação Territorial e Extensão Jurídica das Terras Indígenas no Brasil*; ISA/FUNAI: Brasília, Brazil, 2025. Available online: <https://terrasindigenas.org.br> (accessed on 15 August 2025).
10. Constanino, P.A.L.; Benchimol, M.; Antunes, A.P. Designing Indigenous Lands in Amazonia: Securing indigenous rights and wildlife conservation through hunting management. *Land Use Policy* **2018**, *77*, 652–660. [CrossRef]
11. de Oliveira, J.A.P. Property rights, land conflicts and deforestation in the Eastern Amazon. *For. Policy Econ.* **2008**, *10*, 303–315.

[CrossRef]

12. Conselho Indigenista Missionário (CIMI). *Violência contra os Povos Indígenas no Brasil—Dados de 2024*; CIMI: Brasília, Brazil, 2025. Available online: <https://cimi.org.br/wp-content/uploads/2025/07/relatorio-violencia-povos-indigenas-2024-cimi.pdf> (accessed on 11 October 2025).
13. Mongabay. Deforestation and Threats to Indigenous Leaders in Maranhão. 2021. Available online: <https://news.mongabay.com/> (accessed on 10 September 2025).
14. Fellows, M.; Alencar, A.; Bandeira, M.; Castro, I.; Guyot, C. *Amazon on Fire: Deforestation and Fire in Indigenous Lands in the Amazon*; Technical Note No. 6; Amazon Environmental Research Institute (IPAM): Brasília, Brazil, 2021. Available online: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Amazo%CC%82nia-em-Chamas-6-TIs-na-Amazo%CC%82nia.pdf> (accessed on 2 September 2025).
15. Leonel, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estud. Avanç.* **2000**, *14*, 231–250. [CrossRef]
16. Latorre, N.S.; Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; Andere, L.; Duarte, V.; Arai, E.; Lima, A. Fire Impact on Different Land Cover Types in the Eastern Part of the Brazilian Legal Amazon. *Rev. Bras. Cartogr.* **2017**, *69*, 179–192. [CrossRef]
17. Anderson, L.; Marchezini, V. Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar? *Saúde Debate* **2020**, *44*, 284–302. [CrossRef]
18. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Maranhão—Panorama. Available online: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html> (accessed on 11 September 2025).
19. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022: População Indígena no Maranhão*; IBGE: Rio de Janeiro, Brazil, 2022. Available online: <https://www.ibge.gov.br> (accessed on 16 August 2024).
20. Feitosa, A.C.; Trovão, J.R. *Atlas Escolar do Maranhão: Espaço Geo—Histórico e Cultural*; Editora Grafset: João Pessoa, PB, Brazil, 2006.
21. Bandeira, I.C.N. *Geodiversidade do Estado do Maranhão*; CPRM: Teresina, Brasil, 2013. Available online: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14761> (accessed on 1 September 2025).
22. Spinelli-Araújo, L.; Bayma Siqueira da Silva, G.; Torresan, F.E.; de Castro Victoria, D.; Vicente, L.E.; Bolfe, E.L.; Manzatto, C.V. *Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: Cenário Atual em Dados Geoespaciais*; Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna, Brazil, 2016. Available online: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069715/1/SerieDocumentos108Luciana.pdf> (accessed on 4 November 2025).
23. Aparecido, L.E.O.; Meneses, K.C.; Lorençone, P.A.; Lorençone, J.A.; Rolim, G.S.; Faria, R.T. Climate Classification by Thornthwaite (1948) Humidity Index in Future Scenarios for Maranhão State, Brazil. *Environ. Dev. Sustain.* **2022**, *25*, 6352–6374. [CrossRef]
24. Pessoa, A.C.M.; Anderson, L.O.; Carvalho, N.S.; Campanharo, W.A.; Junior, C.H.L.S.; Rosan, T.M.; Reis, J.B.C.; Pereira, F.R.S.; Assis, M.; Jacon, A.D.; et al. Intercomparison of burned area products and its implication for carbon emission estimations in the Amazon. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 3864. [CrossRef]
25. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*; IGES: Hayama, Japan, 2006. Available online: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (accessed on 12 August 2025).
26. Cochrane, M.A.; Alencar, A.; Schulze, M.D.; Souza, C.M.; Nepstad, D.C.; Lefebvre, P.; Davidson, E.A. Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. *Science* **1999**, *284*, 1832–1835. [CrossRef] [PubMed]
27. Cochrane, M.A.; Laurance, W.F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *J. Trop. Ecol.* **2002**, *18*, 311–325. [CrossRef]
28. Pereira Fernandes, H.G.; Sousa Costa, W.; dos Santos Nogueira, F.L.; Vaz Braga, E.; Alves Leão,

- P.H.; Silva Rodrigues, T.C.; Leite Silva Júnior, C.H. Análise do uso e cobertura da terra e suas relações com o fogo nas terras indígenas do município de Amarante, Maranhão, Brasil. *Rev. Bras. Geogr. Física* **2024**, *17*, 1738–1753. [CrossRef]
29. Governo do Estado do Maranhão. *Decreto nº 31.186, de 8 de Outubro de 2015: Declara Situação de Emergência em 11 Terras Indígenas Atingidas por Incêndios Florestais*; Diário Oficial do Estado do Maranhão: São Luís, Brazil, 2015. Available online: https://pge.ma.gov.br/uploads/pge/docs/DECRETO-N%C2%BA-31.157-DE-01_10-A-31_418-DE-18_12.15.pdf (accessed on 29 August 2025).
 30. Conselho Indigenista Missionário (CIMI). *Relatório de Violência Contra os Povos Indígenas no Brasil*; CIMI: Brasília, Brazil, 2015. Available online: https://cimi.org.br/pub/relatorio/Relatorio-violencia-contra-povos-indigenas_2015-Cimi.pdf (accessed on 2 August 2025).
 31. Instituto Socioambiental (ISA). *Indígenas Protestam Exigindo Fim do Incêndio Gigante na Terra Indígena Araribóia (MA)*; ISA: São Paulo, Brazil, 2015. Available online: <https://www.terrasindigenas.org.br/pt-br/noticia/156222> (accessed on 10 September 2025).
 32. Instituto de Trabalho Indigenista. *Estado de Alerta: Incêndios no MA Afetam Indígenas e Acum Isolados*. Boletim Isolados, 2016. Available online: <http://boletimisolados.trabalhoindigenista.org.br> (accessed on 5 August 2025).
 33. Organization of American States (OAS). *Inter-American Commission on Human Rights (IACHR). Precautionary Measure MC-754/20—Members of the Guajajara and Awá Indigenous Peoples of the Araribóia Indigenous Land regarding Brazil*; OAS/IACHR: Washington, DC, USA, 2021. Available online: https://www.oas.org/en/iachr/decisions/mc/2021/res_1-21_mc_754-20_br_en.pdf (accessed on 17 October 2025).
 34. Jiménez-Muñoz, J.C.; Mattar, C.; Barichivich, J.; Santamaría-Artigas, A.; Takahashi, K.; Malhi, Y.; Sobrino, J.A.; Schrier, G.v.d. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Sci. Rep.* **2016**, *6*, 33130. [CrossRef]
 35. Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; Fonseca, M.G.; Rosan, T.M.; Vedovato, L.B.; Wagner, F.H.; Silva, C.V.J.; Silva Junior, C.H.L.; Arai, E.; Aguiar, A.P.; et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 536. [CrossRef]
 36. Panisset, J.S.; Libonati, R.; Gouveia, C.M.P.; Machado-Silva, F.; França, D.A.; França, J.R.A.; Peres, L.F.; Silva, F. C Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. *Int. J. Climatol.* **2018**, *38*, 1096–1104. [CrossRef]
 37. Silva Junior, C.H.L.; Anderson, L.O.; Silva, A.L.; Almeida, C.T.; Dalagnol, R.; Pletsch, M.A.J.S.; Penha, T.V.; Paloschi, R.A.; Aragão, L.E.O.C. Fire Responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian Droughts. *Front. Earth Sci.* **2019**, *7*, 160. [CrossRef]
 38. Berenguer, E.; Lennox, G.D.; Ferreira, J.; Malhi, Y.; Aragão, L.E.O.C.; Barreto, J.R.; Espírito-Santo, F.D.B.; Figueiredo, A.E.S.; França, F.; Gardner, T.A.; et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2021**, *118*, e2019377118. [CrossRef] [PubMed]
 39. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). *Análise dos Focos de Queimadas no Maranhão*; IMESC: São Luís, Brazil, 2015. Available online: <https://imesc.ma.gov.br/wp-content/uploads/2025/03/2-tri-2016.pdf> (accessed on 3 August 2025).
 40. Masullo, Y.A.G.; Castro, C.E. Aspectos socioeconômicos e a incidência de queimadas nas terras indígenas do estado do Maranhão. *Rev. Geografar* **2015**, *10*, 112–139. Available online: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/44814/28115> (accessed on 18 August 2025).

- August 2025).
41. Instituto Socioambiental (ISA). *Ficha Técnica da Terra Indígena Krenyê*; ISA: São Paulo, Brazil, 2023. Available online: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/5387> (accessed on 6 August 2025).
 42. Instituto Socioambiental (ISA). *Fogo Cerca os Awá-Guajá, Mais uma Vez*; Boletim Socioambiental; ISA: Brasília, Brazil, 2016. Available online: <https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/fogo-cerca-os-awa-guaja-mais-uma-vez> (accessed on 5 August 2025).
 43. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). INPE Registra 30.066 Focos de Queimadas em 2015 no Maranhão. Available online: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3822 (accessed on 17 September 2024).
 44. Garcia, E. *Fogo e Conflito Fundiário em Terras Indígenas do Cerrado*; Universidade de Brasília: Brasília, Brazil, 2015.
 45. Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). Despacho nº 549, de 29 de agosto de 2012. Aprova os Estudos de Identificação da Terra Indígena Kanela/Memortumré. Available online: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/noticias/funai-aprova-identificacao-e-delimitacao-da-terra-indigena-kanela-memortumre-no> (accessed on 6 August 2025).
 46. Silva Bezerra, D.; Dias, B.C.C.; Rodrigues, L.H.d.S.; Tomaz, R.B.; Santos, A.L.S.; Silva Junior, C.H.L. Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1998 a 2016. *Rev. Bras. Climatol.* **2018**, *22*, 468–482. [CrossRef]
 47. Gerude, C.E.F.; Pinheiro, A.S.; Lima, J.S. Análise da Distribuição Espacial e Temporal dos Focos de Calor nas Terras Indígenas do Maranhão (2008–2012). In Proceedings of the Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brazil, 13–18 April 2013; INPE: São José dos Campos, Brazil, 2013; pp. 7281–7288. Available online: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2013_Gerude_Focos_XVISBSR_DE3os.pdf (accessed on 6 August 2025).
 48. Celentano, D.; Miranda, M.V.C.; Mendonça, E.N.; Rousseau, G.X.; Muniz, F.H.; Loch, V.D.C.; Varga, I.V.D.; Freitas, L.; Araújo, P.; Narvaes, I.D.S.; et al. Desmatamento, degradação e violência no “Mosaico Gurupi”—A região mais ameaçada da Amazônia. *Estud. Avanç.* **2018**, *32*, 315–339. [CrossRef]
 49. Alencar, A.A.; Brando, P.M.; Asner, G.P.; Putz, F.E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecol. Appl.* **2015**, *25*, 1493–1505. [CrossRef]
 50. Melo, M.H.F.; Silva, F.B.; Santos Filho, O.O. Conhecimento indígena, sistema de manejo e mudanças ambientais na região de transição Amazônia–Cerrado. *Desenvolv. Meio Ambient.* **2022**, *59*, 1–22. [CrossRef]
 51. Viveiros de Castro, E. Os Pronomes Cosmológicos e o Perspectivismo Ameríndio. *Mana* **1996**, *2*, 115–144. [CrossRef]
 52. Silva-Junior, C.H.L.; Silva, F.B.; Arisi, B.M.; Mataveli, G.; Pessôa, A.C.M.; Carvalho, N.S.; Reis, J.B.C.; Júnior, A.R.S.; Motta, N.A.C.S.; e Silva, P.V.M.; et al. Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 5851. [CrossRef]
 53. Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. *Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 5ª Fase (2023–2027)*; Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima: Brasília, Brazil, 2023. Available online: https://www.gov.br/mma/pt-br/ppcdam_2023_sumario-rev.pdf (accessed on 16 October 2025).
 54. de Melo, M.H.F. O Nome e a Pele: Nominiação e Decoração Corporal Gavião (Amazônia Maranhense). Ph.D. Thesis, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brazil, 2017; p. 411.
 55. Nepstad, D.C.; Schwartzman, S.; Bamberger, B.; Santilli, M.; Ray, D.; Schlesinger, P.; Lefebvre, P.; Alencar, A.; Prinz, E.; Fiske, G.; et al. Indigenous lands and protected areas in the Brazilian Amazon: Conserving biodiversity, reducing deforestation, and protecting carbon stocks. *Conserv. Biol.* **2006**, *20*, 65–73. [CrossRef]
 56. Berenguer, E.; Ferreira, J.; Gardner, T.A.; Aragão, L.E.O.C.; de Camargo, P.B.; Cerri, C.E.; Barlow,

- J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob. Change Biol.* **2014**, *20*, 3713–3726. [CrossRef] [PubMed]
57. Silveira, M.V.F.; Silva-Junior, C.H.L.; Anderson, L.O.; Aragão, L.E.O.C. Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2022**, *31*, 2026–2040. [CrossRef]
58. van der Werf, G.R.; Randerson, J.T.; Giglio, L.; van Leeuwen, T.T.; Chen, Y.; Rogers, B.M.; Mu, M.; van Marle, M.J.E.; Morton, D.C.; Collatz, G.J.; et al. Global fire emissions estimates during 1997–2016. *Earth Syst. Sci. Data* **2017**, *9*, 697–720. [CrossRef]
59. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*; IPCC: Geneva, Switzerland, 2019. Available online: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf> (accessed on 11 October 2025).
60. SEEG Brasil. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. 2024. Available online: <https://seeg.eco.br> (accessed on 10 September 2025).
61. Pyne, S. The Fires This Time, and Next. *Science* **2001**, *2942*, 1005–1006. [CrossRef]
62. Myers, R.L. *Living with Fire: Sustaining Ecosystems & Livelihoods Through Integrated Fire Management*; Global Fire Initiative/The Nature Conservancy: Tallahassee, FL, USA, 2006. Available online: https://sbfiresafecouncil.org/wp-content/uploads/2020/05/LivingWithFire_Myers_2006-1.pdf (accessed on 4 November 2025).
63. de Moraes Falleiro, R.; Santana, M.T.; Berni, C.R. As contribuições do manejo integrado do fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. *Biodivers. Bras.* **2016**, *6*, 88–105. [CrossRef]

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação analisou a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra e suas relações com o fogo em Terras Indígenas do estado do Maranhão entre 1985 e 2023, integrando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial a informações socioambientais e territoriais. Os resultados evidenciam que, embora as Terras Indígenas mantenham extensos remanescentes de vegetação nativa e desempenhem papel central na conservação ambiental do estado, elas não estão imunes às pressões externas associadas à expansão da fronteira agropecuária, à exploração ilegal de recursos naturais e à intensificação dos conflitos fundiários.

A análise multitemporal demonstrou que a perda de vegetação nativa, embora proporcionalmente menor quando comparada às áreas do entorno, apresenta tendência de crescimento ao longo da série histórica, sobretudo nas porções sul e centro-sul do estado, onde o avanço do agronegócio e a conversão de áreas naturais em pastagens se intensificaram. A recorrência do fogo revelou padrões espacialmente concentrados, com destaque para Terras Indígenas como Araribóia, Kanela e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra, indicando que o fogo atua não apenas como agente ecológico, mas como expressão territorial de disputas, pressões ilegais e fragilidades na governança ambiental. Os eventos extremos associados ao El Niño de 2015–2016 evidenciaram a vulnerabilidade desses territórios diante da combinação entre

estresse climático e ações antrópicas.

As estimativas de emissões de gases de efeito estufa confirmaram o fogo como o principal vetor emissor nas Terras Indígenas maranhenses, superando amplamente as emissões associadas exclusivamente ao desmatamento. Esse resultado reforça a necessidade de superar abordagens simplificadoras que associam o fogo apenas à degradação ambiental, reconhecendo sua dimensão histórica, cultural e territorial.

Ao articular as dinâmicas ambientais com os registros de conflitos e violência contra os povos indígenas, o estudo evidenciou que as Terras Indígenas mais afetadas pelo fogo e pela perda de vegetação são, em geral, aquelas submetidas a maiores níveis de invasão e tensão territorial. Nesse contexto, emergem iniciativas de autodefesa e vigilância protagonizadas pelos próprios povos indígenas, como a atuação dos Guardiões da Floresta, que expressam estratégias de resistência, afirmação territorial e proteção ambiental diante da insuficiência das ações estatais. Esses arranjos evidenciam que a conservação ambiental nas Terras Indígenas está intrinsecamente vinculada à garantia de direitos territoriais, à segurança física das comunidades e ao reconhecimento de sua autonomia política.

Conclui-se, portanto, que a proteção das Terras Indígenas no Maranhão exige abordagens integradas que articulem monitoramento ambiental contínuo, fortalecimento da governança territorial, reconhecimento dos saberes tradicionais e implementação efetiva de instrumentos como a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI) e o Manejo Integrado do Fogo. Mais do que áreas de conservação, as Terras Indígenas configuram-se como territórios vivos, nos quais a integridade ambiental, a continuidade cultural e a justiça territorial são dimensões indissociáveis. O reconhecimento dessa complexidade é condição fundamental para a formulação de políticas públicas capazes de enfrentar, de forma estrutural, os desafios ambientais e socioterritoriais que marcam o Maranhão.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B.; ALVARADO, S. T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. *Geografia*, Rio Claro, v. 44, n. 2, p. 321–345, 2019. DOI: 10.5016/geografia.v44i2.15119

ANDERSON, L.; MARCHEZINI, V. Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar? *Saúde em Debate*, Rio de Janeiro, v. 44, p. 284–302, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E220>

APARECIDO, L.E.O, de MENESES, K.C., LORENÇONE, P.A. *et al.* Climate classification

by Thornthwaite (1948) humidity index in future scenarios for Maranhão State, Brazil. *Environ Dev Sustain* 25, 855–878 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02082-9>

ARAGÃO, L.E.O.C., ANDERSON, L.O., FONSECA, M.G. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat Commun* 9, 536. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S. l.], v. 59, n. 2, 2009. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv59n2-44902>.

ARTICULAÇÃO DOS POVOS INDÍGENAS DO BRASIL (APIB). **Marco Temporal é um ataque aos direitos indígenas.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://apiboficial.org/marcotemporal/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ARTICULAÇÃO DOS POVOS INDÍGENAS DO BRASIL (APIB). **Revista ATL 2024.** Brasília, 2024. Disponível em: <https://apiboficial.org/atl2024/> Acesso em: 20 jan. 2025.

BANDEIRA, I. C. N. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Maranhão.** Teresina: CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14761>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Decreto nº 7.747, de 5 de junho de 2012. **Institui a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas – PNGATI, e dá outras providências.** *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 6 jun. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7747. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. **Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1º ago. 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14944-31-julho-2024-796016-publicacaooriginal-172511-pl.html>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BUSTAMANTE, M. M. et al. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical savanna and forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology*, v. 22, p. 92–109, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Geoinformação em apoio ao planejamento territorial. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, n. 9, p. 25–38, 2001.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; MARTINS, S. V.; OLIVEIRA NETO, S. N. de. **Manejo integrado do fogo: conceitos, experiências e desafios.** Brasília: MMA, 2016.

CONSELHO INDIGENISTA MISSIONÁRIO (CIMI). **Violência contra os povos indígenas no Brasil:** dados de 2006–2007. Brasília: CIMI, 2008. Disponível em: <https://cimi.org.br/observatorio-da-violencia/edicoes-anteriores/> Acesso em: 14 de Ago. 2025

CONSELHO INDIGENISTA MISSIONÁRIO (CIMI). **Violência contra os povos indígenas no Brasil:** dados de 2024. Brasília: CIMI, 2025. Disponível em: <https://cimi.org.br/wp-content/uploads/2025/07/relatorio-violencia-povos-indigenas-2024-cimi.pdf>. Acesso em: 11 out. 2025.

CONSTANINO, P. A. L.; BENCHIMOL, M.; ANTUNES, A. P. Designing Indigenous Lands in Amazonia: securing indigenous rights and wildlife conservation through hunting management. *Land Use Policy*, v. 77, p. 652–660, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.016>

DA SILVA, L. A.; NETO, J. SHIRAISHI. Movimentos indígenas Tentehar Guardiões da Floresta na Amazônia Maranhense. *PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP*, v. 17, n. 3, 2024.

DE OLIVEIRA, J. A. P. Property rights, land conflicts and deforestation in the Eastern Amazon. *Forest Policy and Economics*, v. 10, p. 303–315, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2007.11.008>

NASCIMENTO, J. C.; SODRÉ, R. B.; SOBREIRO FILHO, J.; MATTOS JUNIOR, J. S. Maranhão em face aos conflitos agrários: uma cartografia dos conflitos por terra (2001-2020). *Revista Campo-Território*, Uberlândia, v. 19, n. 54, p. 1–18, 2024. DOI: 10.14393/RCT195471435

DURIGAN, G. Zero-fire: not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. *Flora*, v. 268, 151612, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151612>

FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. **Atlas Escolar do Maranhão**: espaço geo-histórico e cultural. João Pessoa: Grafset, 2006.

FELLOWS, M.; ALENCAR, A.; BANDEIRA, M.; CASTRO, I.; GUYOT, C. Amazon on Fire: deforestation and fire in Indigenous Lands in the Amazon. Technical Note n. 6. Brasília: IPAM, 2021. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Amazo%CC%82nia-em-Chamas-6-TIs-na-Amazo%CC%82nia.pdf>. Acesso em: 2 set. 2025.

FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. The year 2017: megafires and management in the Cerrado. *Fire*, v. 1, n. 3, p. 49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire1030049>

FALLEIRO, R. de 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*, v. 6, p. 88–105, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Sobre o Programa de Brigadas Federais**. Brasília, 14 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/manejo-integrado-do-fogo/sobre-o-programa-de-brigadas-federais>. Acesso em: 15 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**: População Indígena no Maranhão. 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=21&tema=4> Acesso em: 16 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Maranhão –**

Panorama. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>. Acesso em: 11 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento do desmatamento e das queimadas na Amazônia e no Cerrado.** São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. Acesso em: 8 ago. 2025.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA); FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS (FUNAI). **Situação territorial e extensão jurídica das Terras Indígenas no Brasil.** Brasília: ISA/FUNAI, 2025. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br>. Acesso em: 15 ago. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 – **AFOLU**. Hayama: IGES, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>. Acesso em: 12 ago. 2025.

KLEIN, A. L. Eugen Warming e o Cerrado brasileiro: um século depois. UNESP, 2000.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>

LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature Climate Change*, v. 4, p. 27–35, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2056>.

LATORRE, N. S. et al. Fire impact on different land cover types in the eastern part of the Brazilian Legal Amazon. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, p. 179–192, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44039>

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estudos Avançados*, v. 14, p. 231–250, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142000000300019>

LEMONS, N. S. A. Padrão de distribuição de incêndios florestais em formações tropicais sensíveis ao fogo. 2021. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8417> Acesso em 29 fev 2025

LIPPEL, A. G. **O conceito de terras indígenas na Constituição Federal de 1988: crítica à decisão do Supremo Tribunal Federal no caso Raposa Serra do Sol.** Curitiba: CRV, 2014.

MAPBIOMAS. **Perguntas frequentes: o que é o MapBiomias?** 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/perguntas-frequentes>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MARTINS, L. S. Os filhos de Maíra: territorialidade e alteridade entre os Tentehar “da Araribóia”. 2023. **Tese** (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

MELO, P. H. S. **Regime de fogo nas Terras Indígenas do Cerrado maranhense.** 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufpi.br:8080/handle/123456789/2660> Acesso 1 fev. 2025

MELO, M. H. F. Madeiros invadem floresta no Maranhão e intimidam indígenas Gavião. *CartaCapital*, São Paulo, 08 mar. 2017. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/sociedade/madeiros-invadem-floresta-no-maranhao-e-intimidam-indigenas-gaviao/>. Acesso em: 2 jan. 2025

MIRANDA, H. S. et al. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: Resultados do Projeto Fogo**. Brasília: Editora UnB, 2010. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedofogodigital.pdf> Acesso 2 fev 2025

MISTRY, J., BERARDI, A., ANDRADE, V. et al. Indigenous Fire Management in the cerrado of Brazil: The Case of the Krahô of Tocantins. *Hum Ecol* **33**, 365–386 (2005). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-005-4143-8>

MORAN, E. F. **Desenvolvimento e meio ambiente na Amazônia: a questão da sustentabilidade**. São Paulo: EDUSP, 1981

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000, 403, 853–858. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>

NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. Proceedings of the National *Academy of Sciences of the United States of America*, v. 113, p. 10759–10768, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Especialistas da ONU pedem ao Brasil que retire projeto de lei que ameaça os direitos dos povos indígenas**. Genebra: United Nations Office of the High Commissioner for Human Rights, 2023. Disponível em: <https://www.ohchr.org/en/statements-and-speeches/2023/06/brazil-un-expert-concerned-about-legal-doctrine-threatening>. Acesso em: 24 jul. 2024.

PESSÔA, A. C. M., ANDERSON, L. O., CARVALHO, N. S., CAMPANHARO, W. A., JUNIOR, C. H. L. S., ROSAN, T. M., REIS, J. B. C., PEREIRA, F. R. S., ASSIS, M., JACON, A. D., OMETTO, J. P., SHIMABUKURO, Y. E., SILVA, C. V. J., PONTES-LOPES, A., MORELLO, T. F., & ARAGÃO, L. E. O. C. (2020). Intercomparison of Burned Area Products and Its Implication for Carbon Emission Estimations in the Amazon. *Remote Sensing*, *12*(23), 3864. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12233864>

PEDROSO JÚNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. *Ciências Humanas*, Belém, v. 3, n. 2, p. 153–174, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-81222008000200003>

PORRO, R. Diagnóstico da agricultura familiar no Médio Mearim, Maranhão: práticas e aspectos da agricultura tradicional. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2022.

RIBEIRO, D. **Diários índios: os Urubus-Kaapor**. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

ROSSONI, R. A.; DE MORAES, M. L. Agropecuária e desmatamento na Amazônia Legal brasileira: uma análise espacial entre 2007 e 2017. *Geografia em Questão*, v. 13, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.48075/geoq.v13i3.23536>

SANO, E. E. et al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00138>

SCHROEDER, W. et al. The spatial distribution and interannual variability of fire in Amazonia. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (org.). Amazonia and global change. Washington: **American Geophysical Union**, 2009. p. 43–60.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (SEMA/MA). **Maranhão Sem Queimadas**: Governo estabelece período proibitivo para uso do fogo no estado. São Luís, 17 jul. 2024. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/noticias/maranhao-sem-queimadas-governo-estabelece-periodo-proibitivo-para-uso-do-fogo-no-estado>. Acesso em: 13 ago. 2024.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (SEMA/MA). **PPCDQ – Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Estado do Maranhão**. São Luís. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/ppcdq-prevencao-e-controle-do-desmatamento>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SILVA, G. B. S. da et al. Proposta metodológica de mapeamento do uso e cobertura da terra de extensas áreas por meio de multissensores. Campinas: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2013. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-984489/Description> Acesso em: 15 Agosto 2024

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, v. 52, p. 225–234, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)

SILVA-JUNIOR, C. H. L. et al. Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. *Scientific Reports*, v. 13, 5851, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32746-7>

de ARAUJO, L. S., Da Silva, G. B. S., TORRESAN, F. E., VICTORIA, D. D. C., VICENTE, L. E., BOLFE, E. L., ... & EDSON LUIS BOLFE, S. I. M. (2016). **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão**: cenário atual em dados geoespaciais. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-1069715/Description> Acesso em: 4 nov. 2024.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (STF). **STF derruba tese do marco temporal para demarcação de terras indígenas**. Brasília, 21 set. 2023. Disponível em: <https://portal.stf.jus.br/noticias/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=514552>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LILA, L. Amazon: illegal loggers set Indigenous forest ablaze. *The Ecologist*, 28 Oct. 2015. Disponível em: <https://theecologist.org/2015/oct/28/amazon-illegal-loggers-set-indigenous-forest-ablaze>. Acesso em: 19 ago. 2024.

WYTY-CATË; CENTRO DE TRABALHO INDIGENISTA (CTI). **Hempejxà âmõ pye hé: plano de gestão territorial e ambiental das terras indígenas timbira**. Brasília: USAID; ISPN, 2021. 200 p. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/0QL00005.pdf>. Acesso em: 12

jan. 2025.

ANEXOS: Infográfico

Remanescentes florestais e recorrência do fogo em Terras Indígenas do Maranhão

TI Bacurizinho queimou 72% de sua mata em 2014



TI Cana Brava queimou 54% de sua mata em 2017



Governador queimou 37% de sua área em 2017



TI Araribóia queimou 48% de sua mata em 2015



QUANDO O FOGO VOLTA, A TERRA SENTE



E nessas terras o fogo voltou muitas vezes na mata

2,03 milhões ha
vegetação nativa remanescente



185 mil ha
vegetação perdida



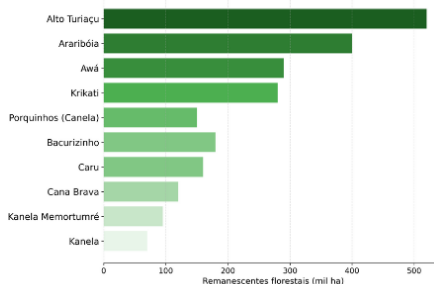
85%
das emissões associadas ao fogo



2015-2017
período mais crítico de queimadas



ONDE SE CONCENTRAM OS MAIORES REMANESCENTES FLORESTAIS



De 1985 a 2023, quantas vezes as Terras Indígenas do Maranhão queimaram?



Violência e Conflitos em Terras Indígenas

Maranhão (2003-2023)

Total de assassinatos

77

Invasões/danos (casos)

253

TI mais afetada

Araribóia (165)

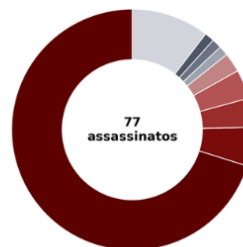
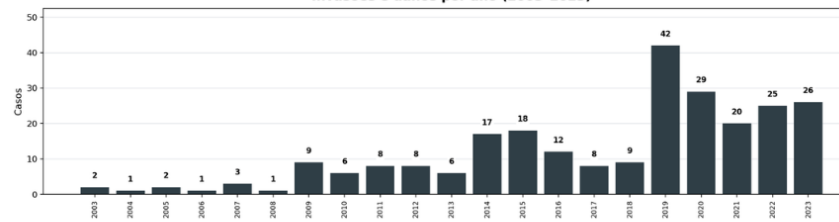
Povo mais atingido

Guajajara (54)

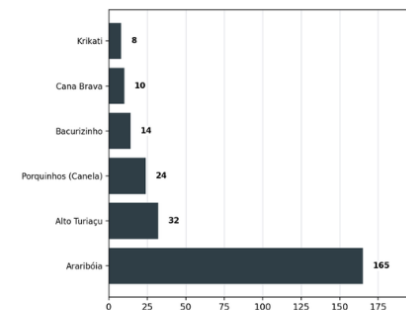
Assassinatos por ano (2003-2023)



Invasões e danos por ano (2003-2023)



Guajajara
Krikati
Canela
Timbira
Gavião
Gamelã
Awá-Guajá
Krikati
Não especificad



Tipos de dano mais recorrentes (nº de anos)

18/21
anos

Extração ilegal de madeira

16/21
anos

Desmatamento

15/21
anos

Invasão / grilagem

12/21
anos

Fogo

6/21
anos

Danos ao patrimônio

4/21
anos

Garimpo

4/21
anos

Contaminação