



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS - CCHL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGGEO



WANDEMARA DE OLIVEIRA COSTA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM TERRAS
INDÍGENAS NO MARANHÃO**

TERESINA - PI
2022

WANDEMARA DE OLIVEIRA COSTA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM TERRAS
INDÍGENAS NO MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí (PPGEO/UFPI), como requisito à obtenção do grau de Mestre em Geografia. Área de Concentração: Organização do Espaço e Educação Geográfica. Linha de Pesquisa: Estudos Regionais e Geoambientais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Giovana Mira de Espindola

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

C837d Costa, Wandemara de Oliveira.
Dinâmica espaço-temporal de incêndios florestais em terras indígenas no maranhão / Wandemara de Oliveira Costa. -- 2022.
69 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Teresina, 2022.
“Orientador: Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola”.

1. Fitofisionomias do Cerrado. 2. Cicatrizes de áreas queimadas.
3. Frequência de fogo. I. Espindola, Giovana Mira de.
II. Título.

CDD 918.121

WANDEMARA DE OLIVEIRA COSTA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM TERRAS
INDÍGENAS NO MARANHÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola.

Aprovado(a) em 30/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

GIOVANA MIRA DE Assinado de forma digital
por GIOVANA MIRA DE
ESPINDOLA:02922 ESPINDOLA:02922791912
791912 Dados: 2022.11.12 15:26:18
-03'00'

Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola
[Orientadora - Presidente]

PARTICIPAÇÃO À DISTÂNCIA POR ACESSO REMOTO

Prof.Dr. Gustavo Souza Valladares
[Examinador Interno ao Programa – PPGGEO – UFPI]

PARTICIPAÇÃO À DISTÂNCIA POR ACESSO REMOTO

Prof.Dr. Reurysson Chagas de Sousa Morais
[Examinador Externo à Instituição – IFPI]

Profa.Dra. Bartira Araújo da Silva Viana. SIAPE: 2440142
COORDENADORA DO PPGGEO/UFPI. AR Nº. 386/2021 de 15/04/2021

AGRADECIMENTOS

Inicialmente fiquei sem palavras para escrever os meus agradecimentos, estive pensando: consegui chegar até aqui?! Às vezes cogitei em desistir, mas a vontade de superar foi maior, pedi muito a Deus que me desse forças para ultrapassar os obstáculos que surgiram em minha vida, esses dois últimos anos não foram nada fáceis, mas consegui concluir mais um objetivo e tenho muito para agradecer a Deus que em momentos de prantos me acalmou e fez com que a cada dia eu fosse superando a vontade de não desistir, meus pais José Wagner Ferreira Santos e minha mãe Raimunda Gomes de Oliveira foram e são essenciais em minha vida, sem eles não teria chegado até aqui, além de excelentes pais são também avós maravilhosos que cuidam do meu filho Erick Waniel de Oliveira Silva Sousa, foi com ele que descobri um amor que não cabe em meu coração, por ele dou minha vida e sem ele não sou nada, descobri que tenho coragem e força para superar tudo. Meu irmão Wandemberg de Oliveira Costa sempre parceiro e amigo, a ele também sou muito grata. A minha segunda mãe, Conceição de Maria F. Santos que amo muito e agradeço pelos conselhos. Ao meu esposo Daniel da Silva Sousa, que esteve sempre ao meu lado, juntos superamos as dificuldades impostas pela vida. Sou grata a todos os familiares e amigos (Nadja Rodrigues, João Vitor, Thays Gomes, Isabelle Maria e muitos outros) que sempre estiveram presentes em minha vida. Ao seu Ubiratan Cavalcante muito obrigado pela moradia, conselhos e apoio, pois a distância de casa traz muita solidão e tristeza, a dona Marineide, uma pessoa querida da escola em que trabalho, assim como, colegas de profissão. Não poderia deixar de agradecer também ao Pedro de Melo que me ajudou muito no geoprocessamento. Agradeço também a minha orientadora Dr^a. Giovana Mira de Espindola por toda paciência e compreensão e aos meus inesquecíveis professores da graduação Bartira Araújo, Gustavo Valladares, Raimundo Lenilde, Antônio C. Façanha e muitos outros que de alguma forma contribuíram com minha formação acadêmica. Obrigada a todos!

RESUMO

O Cerrado é um bioma rico em biodiversidade, apesar de possuir características do clima savânico é repleto de recursos hídricos e apresenta diferentes fisionomias na vegetação. Estas possuem reações distintas em contato com o fogo, inclusive algumas delas possuem adaptações e as queimadas são frequentes. Entretanto, alterações no regime de fogo provocadas, principalmente, pelas ações antrópicas têm causado danos ao ecossistema. Nas Terras Indígenas (TIs) o uso do fogo é comum em diversas atividades, porém, o avanço desenfreado dos incêndios florestais tem causado prejuízos sociais, econômicos e ambientais a essas comunidades. Assim, a presente dissertação objetiva avaliar a dinâmica espaço-temporal dos incêndios florestais no bioma Cerrado em Terras Indígenas no Maranhão com dados do sensoriamento remoto. A área de estudo compreende dez TIs localizadas na porção central do estado do Maranhão: Bacurizinho, Porquinhos, Porquinhos dos Canela-Apanyekrá, Cana Brava, Kanela, Kanela/Memortumré, Lagoa Comprida, Urucu-Juruá, Rodeador e Morro Branco. O procedimento metodológico para geração dos mapas de cicatrizes de área queimada e de frequência de fogo envolveu o uso dos dados do MapBiomas Fogo que desenvolveu o mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil baseado em mosaicos de imagens dos satélites Landsat disponíveis no catálogo do *Google Earth Engine* (GEE). Os dados foram manipulados no software QGIS 3.20. Dentre os resultados destaca-se que durante o período de 2001 a 2020 foram detectadas 28.838,46 km² de áreas queimadas nas TIs. Ao verificar a área das cicatrizes de fogo nas fitofisionomias do Cerrado, as formações savânicas e campestres foram as vegetações que mais queimaram. O ano de 2012 teve a maior área queimada da formação savânica com 1.352,43 km² da área total e no ano de 2015 a formação campestre teve a maior área com 1.025,24 km² das TIs. A única exceção foi no ano de 2017, a vegetação florestal queimou mais do que as outras duas fitofisionomias com 1.306,12 km² da área total. As regiões sul e sudeste do território indígena concentraram-se as áreas com maiores frequências de fogo, foram 8.183 km², ou seja, 67,5% da área total queimaram ao menos uma vez. Portanto, os resultados melhoram a compreensão da dinâmica de fogo, sua distribuição espacial e temporal, tornando possível uma análise geográfica que pode contribuir para conscientizar a sociedade dos prejuízos causados pelas ações antrópicas ao bioma Cerrado, que cada vez mais vem sofrendo com intensos incêndios florestais comprometendo as TIs.

Palavras-chave: Fitofisionomias do Cerrado. Cicatrizes de áreas queimadas. Frequência de fogo.

ABSTRACT

The Cerrado is a biomerich in biodiversity, despite having characteristics of the savanna climate is full of water resources and presents different physiognomies in the vegetation. These have different reactions in contact with fire, some of them even have adaptations and fires are frequent. However, changes in the fire regime caused mainly by human actions have caused damage to the ecosystem. In Indigenous Lands (TIs) the use of fire is common in several activities, but the rampant advance of forest fires it has caused social, economic and environmental damages to these communities. Thus, this dissertation aims to evaluate the spatio-temporal dynamics of forest fires in the Cerrado biome in Indigenous Lands in Maranhão with remote sensing data. The study área comprises ten TIs located in the central portion of the state of Maranhão: Bacurizinho, Porquinhos, Porquinhos dos Canela-Apanyekrá, Cana Brava, Kanela, Kanela/Memortumré, Lagoa Comprida, Urucu-Juruá, Rodeador and Morro Branco. The methodological procedure for generating the maps of burned área scars and fire frequency involved the use of data MapBiomias Fogo which developed the mapping of fire scars in Brazil based on mosaics of images from Landsat satellites available in the catalog of *Google Earth Engine* (GEE). The data were manipulated in the software QGIS 3.20. Among the results it is highlighted that during the period from 2001 to 2020 28. 838,46 km² of burned áreas were detected in the TIs. When verifying the area of fire scars on the phytophysiognomies of Cerrado, the savanna and grassland formations were the phytophysiognomies that burned the most. The year 2012 had the highest of burned area the savanna formation with 1.352,43 km² of the total área and at the year 2015 the rural formation had the highest area with 1.025,24 km² of TIs. The only exception was in 2017, the forest vegetation burned more than the other two phytophysiognomies with 1.306,12 km² of the total área. The southern and southeastern regions of the indigenous territory were the áreas with the highest frequencies of fire, 8.183 km², that is, 67,5% of the total área burned at least once. Therefore, the results improve the understanding of fire dynamic, its spatial and temporal distribution, making possible a geographic analysis that can contribute to making society aware of the damage caused by human actions to the Cerrado biome, which is increasingly suffering from intense forest fires compromising the TIs.

Keywords: Phytophysiognomies of the Cerrado. Scars from burned areas. Fire frequency

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E EQUAÇÃO.....	10
LISTA DE SIGLAS.....	11
1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Terras Indígenas (TIs) e a prática de utilização do fogo	15
2.2 Bioma Cerrado e os incêndios florestais.....	19
2.3 Sensoriamento remoto e o uso e cobertura da terra.....	19
2.4 Monitoramento e mapeamento de incêndios florestais	28
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.1 Localização das Terras Indígenas (TIs).....	33
3.2 Geologia	35
3.3 Geomorfologia.....	37
3.4 Hidrografia e Clima	40
3.5 Pedologia	43
3.6 Uso e Cobertura da terra	46
4 MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1 Origem e metodologia do MapBiomias.....	49
4.2 Dinâmica espaço-temporal das cicatrizes de área queimada e frequência de fogo....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 Análise das cicatrizes da área queimada	53
5.2 Padrões de frequência de fogo baseado nas variáveis geoambientais.....	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	34
Figura 2 - Mapa de Unidades Geológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	35
Figura 3 - Mapa de Unidades Geomorfológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	38
Figura 4 - Mapa de Hidrografia das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	41
Figura 5 - Climograma de Barra do Corda, com base nos dados das normais climatológicas do Brasil 1981-2010	42
Figura 6 - Mapa de Unidades Pedológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	44
Figura 7 - Mapa de uso e cobertura do ano de 2020 das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	46
Figura 8 - Grau de susceptibilidade ao fogo das fitofisionomias do bioma Cerrado	47
Figura 9 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos de classificação de áreas queimadas no Brasil no MapBiomias Fogo	50
Figura 10 - Mapas da distribuição anual das cicatrizes de área queimada das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2010	54
Figura 11 - Mapas da distribuição anual das cicatrizes de área queimada das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2011-2020	57
Figura 12 - Mapa da frequência de fogo das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020	61

LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E EQUAÇÃO

Tabela 1 - Áreas correspondentes as unidades geológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	36
Tabela 2 - Áreas correspondentes as unidades geomorfológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão	39
Tabela 3 - Área queimada em cada classe de uso e cobertura das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020	55
Gráfico 1 - Variação das cicatrizes de queimadas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020	55
Gráfico 2 - Cicatrizes de área queimada em cada classe de uso e cobertura das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020	58
Gráfico 3 - Área da frequência de fogo das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020	60
Equação 1 - NBR mínimo	50

LISTA DE SIGLAS

APP - Área de Preservação Permanente
ATBD - Documento Base da Teoria do Algoritmo
CAR - Cadastro Ambiental Rural
CIMAN - Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
CRM - Centro de Monitoramento Remoto
EM - Energia Eletromagnética
ESM - Estação Seca Média
EST - Estação Seca Tardia
FIRMS - Fire Information for Resource Management System
Funai - Fundação Nacional do Índio
GEE - Google Earth Engine
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IES - Início da Estação Seca
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MapBiomas - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MIF - Manejo Integrado do Fogo
NBR - Índice de Queimada Normalizada
NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR - Infravermelho Próximo
ONGs - Organizações não Governamentais
Prevfogo - Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
REM - Radiação Eletromagnética
RGB - Red, Green e Blue
SiBCS - Sistema Brasileiro de Ciência do Solo
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais
SWIR - Infravermelho de Ondas Curtas
TIs - Terras Indígenas
UCs - Unidades de Conservação
UCPI - Unidades de Conservação de Proteção Integral

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência periódica de incêndios florestais no bioma Cerrado, em Terras Indígenas (TIs), tem causado sensíveis prejuízos socioambientais às comunidades locais, apesar das fitofisionomias vegetais deste bioma apresentarem diferentes níveis de adaptação a este fenômeno (KLINK; MACHADO, 2005). Associado à sazonalidade das chuvas e aos solos pobres em nutrientes, o fogo é considerado um dos fatores determinantes quanto à adaptação da vegetação do Cerrado. O período e a frequência de ocorrência do fogo vão definir o regime de queima promovendo a adaptação, assim como o desenvolvimento de certos espécimes vegetais. A partir de 1970, inúmeros estudos foram realizados visando entender os impactos causados pelo fogo na vegetação do Cerrado, independentemente da fitofisionomia queimada. No entanto, poucos estudos apresentaram informações sobre regimes de queima e/ou sobre a diferença entre incêndio e queimada, dificultando a comparação dos resultados obtidos nos diferentes estudos (IBAMA, 2010).

De acordo com Lacerda (2013, p. 14), “Incêndio florestal - é todo fogo sem controle que incide sob qualquer forma de vegetação. Pode ser desencadeado por causas naturais (raios) ou provocados de forma acidental (descuidos) ou intencional (ações de incendiários)”. Segundo o autor, “queimada é a prática agropastoril ou florestal em que o fogo é utilizado de forma controlada. Apesar de envolver a destruição, a queima da vegetação é uma importante forma de preparação do terreno para semear e plantar ou para renovar as pastagens” (LACERDA 2013, p. 15). Os efeitos do fogo podem ser desastrosos, no entanto, seu manejo com a realização da queima controlada é considerado benéfico para certas fitofisionomias do bioma Cerrado. Essa vegetação convive há milhares de anos com o fogo, considerado um elemento natural, de maneira que é possível utilizá-lo como fator de manejo para a conservação de áreas (IBAMA, 2010).

Apesar disso, é preciso que esse manejo seja realizado de maneira adequada, por meio de planejamentos que possam trazer resultados satisfatórios quanto à conservação das diferentes fisionomias do cerrado. Além disso, o manejo integrado do fogo possibilita a associação entre as práticas tradicionais de uso do fogo pelos povos indígenas e as técnicas especializadas que podem contribuir para o controle e redução dos incêndios florestais sem causar prejuízos socioculturais e econômicos a essas comunidades. As TIs foram criadas com intuito dos povos indígenas manterem suas tradições, assim como preservarem os recursos naturais ali presentes, sabe-se que a utilização do fogo por esses povos é uma prática tradicional de subsistência, tida como cultural, realizada há milhares de anos.

O estado do Maranhão possui parte do seu território localizado na Amazônia Legal, sendo 64% compreendido pelo bioma Cerrado (VILELA; GASPARINETTI, 2018). Segundo O'Dwyer (2016), incêndios florestais de grande dimensão destruíram inúmeras terras indígenas do Maranhão, ameaçando os direitos de seus povos. No intervalo entre os meses de setembro de 2015 a abril de 2016, incêndios florestais de grandes proporções atingiram as TIs do Maranhão, não se sabendo ao certo se esses incêndios foram de causas naturais ou intencionais provocados por extrativistas madeireiros. Sabe-se, no entanto, que esses eventos afetaram resquícios de cerrado e floresta amazônica em territórios de ocupação tradicionais reconhecidos e demarcados pelo Estado brasileiro, são eles: TIs Geralda do Toco Preto, Araribóia, Governador, Cana Brava Guajajara, Krikati, Urucu, Lagoa Comprida, Porquinhos, Bacurizinho, Juruá, Canela e as TIs Alto Turiaçu, Caru e Awa, estas compõem o complexo Alto Turiaçu (O'DWYER, 2016).

Partindo dessa concepção, o estudo justifica-se pela necessidade de realizar diagnósticos sobre a ocorrência de incêndios florestais em TIs com a utilização do sensoriamento remoto, assim como, compreender a importância do conhecimento dos povos indígenas sobre o uso tradicional do fogo. Pesquisas com esses propósitos são indispensáveis para criar estratégias de gestão que possibilitem a prática da queima controlada, mantendo assim as tradições indígenas sem prejuízos socioeconômicos, e o controle dos incêndios florestais garantindo a manutenção da biodiversidade do cerrado.

Dessa forma, a pesquisa foi desenvolvida a partir do seguinte questionamento: Como dados disponibilizados pelo sensoriamento remoto podem contribuir para o monitoramento dos incêndios florestais no bioma Cerrado? O objeto de estudo são os incêndios florestais que acometem o bioma Cerrado em Terras Indígenas (TIs) com análise realizada por meio de dados do sensoriamento remoto. Diante da realidade local descrita anteriormente busca-se verificar a seguinte hipótese de trabalho: A utilização de dados do sensoriamento remoto para o monitoramento dos incêndios florestais no bioma Cerrado pode contribuir para a redução dos impactos causados, garantindo a manutenção das tradições dos povos indígenas no Maranhão.

Norteadas por estes questionamentos e no propósito de verificar a hipótese formulada, foi definido como objetivo geral deste trabalho: avaliar a dinâmica espaço-temporal dos incêndios florestais no bioma Cerrado em Terras Indígenas no Maranhão com dados do sensoriamento remoto. Para tanto, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

a) analisar as cicatrizes de área queimada, no período de 2001 a 2020, com dados do MapBiomias, relacionando-as com as classes de uso e cobertura da terra;

b) discutir os padrões de recorrência espacial nas TIs baseado nas variáveis geoambientais e frequência de fogo.

O estudo foi realizado no estado do Maranhão, em que a ocorrência de incêndios florestais tem sido prejudicial às Terras Indígenas (TIs), causando impactos ambientais, econômicos e sociais a esses povos. Integra o Projeto Prevfogo-Ibama N°33/2018 intitulado “Abordagem intercultural para o manejo integrado do fogo em Terras Indígenas no Maranhão” que visa o desenvolvimento de pesquisas em ecologia, monitoramento e manejo integrado do fogo. Portanto, esta pesquisa tem o propósito de desenvolver estratégias para melhor gestão das TIs, pois o sensoriamento remoto somado ao geoprocessamento permite fazer uma análise espacial e identificar as alterações ambientais, subsídios para o desenvolvimento de planejamentos que contribuam para a manutenção dos recursos naturais em TIs no Cerrado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Terras Indígenas (TIs) e a prática de utilização do fogo

Os indígenas são considerados os primeiros habitantes do Brasil, portanto, em grande parte do território há vestígios e registros da presença desses povos. Segundo Luciano (2006, p. 27), “falar hoje de índios no Brasil significa falar de uma diversidade de povos, habitantes originários das terras conhecidas na atualidade como continente americano. São povos que já habitavam há milhares de anos essas terras, muito antes da invasão europeia”. De acordo com o Art. 231 da Constituição Federal de 1988, aos indígenas são reconhecidos, seus costumes, crenças, línguas, tradições e sua organização social, e os direitos originários as terras que historicamente vivem, a União tem a obrigação de delimitá-las, defender e fazer considerar todos os seus patrimônios (BRASIL, 2009). As Terras Indígenas são administrativamente demarcadas com base no Art. 19 da Lei nº 6.001 - Estatuto do Índio, de 19 de dezembro de 1973, por decisão e sob orientação do governo federal de assistência ao índio (BRASIL, 1973). Com intuito de assegurar aos povos indígenas o direito a terra com o propósito de manterem suas tradições sem risco de perda.

Segundo Brasil (2020), as Terras Indígenas (TIs) são consideradas um fragmento do território brasileiro, povoados por uma ou várias comunidades indígenas, usada por estas em seus trabalhos produtivos, culturais, comodidade e procriação. Portanto, trata-se de uma propriedade da União, sendo este intransferível e não está disponível, e os direitos acerca dela são irrevogáveis. Cabe salientar que o uso dessas terras pelos indígenas, determinada pelo Art. 231, § 1º da Constituição Federal de 1988, é fundamental à manutenção dos recursos naturais indispensáveis ao seu bem-estar conforme seus usos, costumes e tradições (BRASIL, 2009). Portanto, além de garantir aos indígenas a permanência de seu modo de vida, seguindo suas tradições e costumes, também contribuem para a conservação dos elementos da natureza.

Reconhecidas pela Fundação Nacional do Índio (Funai), atualmente existem 488 TIs regularizadas, que abrangem em torno de 12,2% do território nacional, estando mais concentradas na Amazônia Legal. Essa concentração é consequência do procedimento de reconhecimento iniciado, sobretudo, no decorrer da década de 1980, no contexto da política de integração do Brasil, com o fortalecimento econômico das regiões Norte e Noroeste do estado brasileiro. As TIs podem ser estabelecidas em qualquer parte do território pela União, são “áreas destinadas à posse e ocupação pelos povos indígenas, onde possam viver e obter meios de subsistência, com direito ao usufruto e utilização das riquezas naturais, garantindo-se as condições de sua reprodução física e cultural” (BRASIL, 2020, p.3).

Nos termos das leis em vigor: Constituição Federal, Lei nº 6.001- Estatuto do Índio, de 19 de dezembro de 1973, Decreto nº 1.775, de 8 de janeiro de 1996 (BRASIL, 2020), as TIs podem ser classificadas nas seguintes categorias:

- **Terras Indígenas Tradicionalmente Ocupadas:** são as terras que se refere o Art. 231 da Constituição Federal de 1988, em que os indígenas têm direito originários, do qual o processo de delimitação é regulamentado pelo Decreto n.º 1.775/96.
- **Reservas Indígenas:** são terras cedidas por terceiros, obtidas ou desapossadas pela União, que são disponibilizadas à posse definitiva dos povos indígenas. São terras pertencentes também ao patrimônio da União, porém não podem ser confundidas com as terras tradicionalmente ocupadas. Existem TIs, entretanto, que foram reservadas pelos estados-membros, reconhecidas como tradicionalmente ocupadas, sobretudo no decorrer da primeira metade do século XX.
- **Terras Dominiais:** são as terras de posse dos povos indígenas, existentes, por algumas das maneiras de obtenção do domínio, nos termos das leis civis.
- **Interditadas:** são áreas restritas pela Funai com intuito de proteger os povos e grupos indígenas isolados, com a implantação de limites de acesso e circulação de terceiros na área. A interdição da área pode ser feita simultaneamente ou não com o processo de delimitação, disciplinado pelo Decreto n.º 1.775/96.

Nas TIs, os povos indígenas gozam do direito de fazer uso de seus costumes e tradições de acordo com o Art. 231 da Constituição Federal de 1988, sendo o uso fogo uma prática tradicional de subsistência da cultura indígena, inclusive esses povos estão incluídos nas exceções quanto à desautorização da utilização do fogo na vegetação, da Lei nº 12.651, Art. 38, § 2º do novo Código Florestal do Brasil, que estabelece que: estão isentos da desautorização contínua no *caput* os hábitos de precaução e combate aos incêndios e as de atividade de subsistência realizadas pelas comunidades tradicionais e indígenas (BRASIL, 2012). Uma prática tradicional tida como milenar, portanto, não pode ser perdida; é preciso respeitá-la na busca de diálogo entre a manutenção das tradições indígenas e a preservação do meio ambiente.

Em um dos estudos do etnobotânico Darrel Possey sobre o uso do fogo no Cerrado e nas capoeiras no Brasil, realizado com os índios Kayapó, o autor descreve a prática do uso do fogo no preparo da terra para o cultivo. Nas palavras do autor, a roça indígena: inicia-se pela abertura de clareiras que formam corredores, seguidos pela queima controlada, para conter o excesso de calor e prejuízo às raízes previamente plantadas. O fogo controlado é utilizado

inúmeras vezes pelos indígenas no Cerrado, prática usada para abertura dos terrenos de plantio e repetida em menor proporção, também é integrada ao manejo dos recursos com fins de fertilização e abertura de áreas reservadas aos cultivos selecionados. Essas tradições indígenas de subsistência criam suas “ilhas” compostas por recursos de inúmeras utilidades: alimentos, água, produtos de higiene, repelentes de insetos, material para a construção de suas casas, plantas medicinais, dentre outros. O número de “ilhas” plantadas em roças cresce conforme a proximidade de suas aldeias (POSSEY, 1986 apud LACERDA, 2013).

Para atender às suas necessidades, o índio também coloca fogo ocasionalmente durante a caça. Nessas situações, o fogo é utilizado, não para destruir áreas florestadas, nem para ampliar os campos e savanas, mas para manejar as “ilhas de recursos”, os denominados apêtês, de vegetação mais densa e rica. Outra destinação ao uso do fogo é a eliminação de cobras, escorpiões, além de plantas espinhosas e ervas daninhas superficiais, que dificultam caminhadas e caçadas nas trilhas. Existem numerosas espécies vegetais cuja resposta ao fogo depende da frequência, época, e intensidade do fogo, assim como das condições climáticas anteriores e posteriores à queima (LACERDA, 2013).

Há milhares de anos o fogo vem sendo utilizado pelos habitantes moradores das savanas de todo o planeta (FALLEIRO; SANTANA; BERNI, 2016). Há narrações antigas a respeito do uso do fogo pelos povos indígenas nas florestas brasileiras, porém muitas dessas repletas de preconceito, atribuindo aos indígenas à denominação de “incendiários contumazes” (LEONEL, 2000). Porém, com o avanço da ciência em pesquisas referente às consequências ambientais do fogo, feitas em volta da terra (LEHMANN, 2014; WILLIAM; BOND, 2005 apud FALLEIRO; SANTANA; BERNI, 2016) e no Brasil (IBAMA, 2010), demonstraram o papel essencial do fogo nas savanas em sua conservação e manejo. Daí em diante, começou-se a ver as práticas tradicionais de outro modo. Considerados provocadores de incêndios, os indígenas converteram-se, na maioria das vezes em conhecedores no manuseio e ecologia do fogo (FALLEIRO; SANTANA; BERNI, 2016).

Entretanto, inúmeros são os problemas decorrentes da prática da queimada primitiva pelos indígenas, dentre eles: os solos empobrecidos, declínio da produção, emissão de gases de efeito estufa (mesmo que em pequena quantidade), ocorrências de queimadas que fogem do domínio e destroem vários tipos de cobertura vegetal e também florestas (nesta situação a emissão de gases de efeito estufa ocorre em quantidade elevada) (ABI-EÇAB, 2011). Ainda segundo o autor, opor-se em abandonar as práticas tradicionais milenares pelo emprego de novos métodos é um tema polêmico. Porém, esta opção necessariamente não ocasiona perda

da identidade indígena, além de ser desejada numerosas vezes por essas populações, que padecem com a carência de alimentos (ABI-EÇAB, 2011).

Para Abi-Eçab, (2011, p.11) não há “nenhum obstáculo que impeça a comunhão entre os saberes tradicionais dos índios e os métodos científicos do homem branco, se em prol da eficiência ambiental e da segurança alimentar dos povos indígenas”. Nessa questão, implementar práticas como o Manejo Integrado do Fogo (MIF), que “considera aspectos ecológicos, socioculturais e técnicos, e propõe o uso de queimadas controladas no início do período de seca com vistas a garantir a conservação e o uso sustentável de ecossistemas” (MMA, 2014, p. 1), com a participação conjunta dos povos indígenas e técnicos especializados é uma estratégia positiva, pois é possível fazer planejamento de queimadas controladas, permitindo reduzir os incêndios florestais e a emissão de gases do efeito estufa.

Segundo Falleiro, Santana e Berni (2016), a implementação do MIF nas TIs proporcionou a efetiva integração dos aspectos sociais, culturais e ambientais, estas carentes de avanços tecnológicos, propiciando a salvação de costumes e conhecimentos, e a elaboração de um método com planejamento e aplicação que tenha consideração e respeito pelas populações tradicionais. Ainda segundo os autores, inúmeras práticas podem ser adotadas com a troca de conhecimentos entre os povos indígenas e técnicos especializados, com respeito aos hábitos tradicionais, entretanto essas adaptações não são nada fáceis de serem implementadas, tendo a necessidade de ser discutida com a comunidade, que ao ser convencida dos benefícios dessas mudanças e ao mesmo tempo participar desse processo de adaptação da prática tradicional podem minimizar os impactos ambientais e melhorar o aproveitamento dos recursos naturais, além de possibilitar o aumento na produção de alimentos.

Portanto, os povos indígenas podem se favorecer dos conhecimentos científicos sem causar prejuízos socioculturais e ainda com o fortalecimento da agricultura de subsistência. Contudo, os direitos constitucionais fundamentais dos indígenas, “como preservação do valioso patrimônio cultural imaterial indígena, o direito de sobrevivência física e cultural destes povos e a conservação da biodiversidade e do equilíbrio ambiental, chocam-se com os processos de globalização e deculturação” (ABI-EÇAB, 2011, p. 2). Os indígenas modificam seu modo de vida com hábitos consumistas e práticas ambientais insustentáveis, o autor cita algumas das principais ameaças presentes no Brasil, dentre elas: mineração e garimpo; agropecuária; monocultura; extração de madeira; dentre outros problemas que podem comprometer a função ambiental das TIs e o afastamento de suas tradições (ABI-EÇAB, 2011).

2.2 Bioma Cerrado e os incêndios florestais

Com a segunda maior formação vegetal da América do Sul, o bioma Cerrado possui dois milhões de km² de extensão. Inicialmente, cerca de um quarto da área do Brasil foi ocupado por essa vegetação de diferentes fisionomias, campos naturais, florestas, veredas, savanas dentre outras. Essa variedade de ambientes, associada a diferentes tipos de solos e à disponibilidade de águas, explicam a riqueza em vida do Cerrado. Porém, grande parte da sua vegetação original deu lugar à agropecuária, produção de energia e urbanização. Desmatamentos, queimadas e incêndios provocam consequências graves à biodiversidade do Cerrado que possui hoje menos de 3% de Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI) efetivamente protegidos (WWF, 2012).

O Cerrado é compreendido por fisionomias que vão de floresta a campo, formando um ecótono. Menos rigoroso do que as classificações fisionômicas e florísticas o conceito de ecótono refere-se ao mosaico do cerrado. Por toda a extensão deste ecóclíneo (cerradão até campo limpo), a densidade de vegetação arbórea e arbustiva diminui gradativamente. Os ecótonos podem ser resultantes da ação de determinados fatores de controle do desenvolvimento da vegetação arbórea e arbustiva. Os principais fatores nesse ecóclíneo são, sobretudo, o estado do solo e a atuação das queimadas (CONTI; FURLAN, 2008).

Dentre as numerosas paisagens do cerrado, algumas são biócoros e biótopos de grande relevância, tais como (NASCIMENTO, 2001):

- **Veredas:** paisagem típica próximo a pequenos cursos d'água, geralmente em áreas planas, como solo hidromórfico, possuindo a palmeira buriti como principal elemento da flora e, em áreas mais a leste do bioma, a buritirana, acompanhando o curso d'água e gramíneas se estendendo por toda a planície de inundação;
- **Campo Limpo e Campo Sujo:** normalmente em áreas aplainadas, com solos pobres e cascalhentos, constituída fundamentalmente por um estrato herbáceo/gramíneo, despontando, ocasionalmente, arbustos esparsos com altura entre 1 a 2 metros;
- **Cerrado “*stricto sensu*”:** vegetação estruturada em apenas dois estrados: com arbustos e árvores esparsas e tortuosas, que atinge altura média de 7 a 10 metros, e uma camada herbáceo/gramíneo. Corresponde à paisagem mais disseminada do cerrado, considerada por muitos, como beleza natural ímpar, é a que ocupa a maior extensão no bioma e, deste modo, reconhecem-na como a mais característica;

- **Cerradão:** estruturado em nódos de solo mais rico, é comumente formado por uma vegetação parecida com a do cerrado “*stricto sensu*”, porém mais densa e de maior porte, com árvores alcançando altura superior a 10 metros;
- **Matas de galeria:** acompanham os cursos d’água e têm composição e alturas de dosséis diversificados. Na faixa onde se estruturam, apresentam e retêm mais umidade no solo que nas áreas ao redor. Têm grande relevância na conservação de nascentes e defesas de mananciais, agindo como atenuador de escoamentos superficiais que poderiam arrastar resíduos. São semelhantes às Matas Ciliares, diferenciando-se, segundo Ribeiro e Walter (2008), basicamente pela fisionomia formando corredores (galerias) sobre o curso d’água, são perenifólias e não apresentam caducifolia no decorrer da estação seca como na Mata Ciliar.

Os cerrados brasileiros divergem das savanas africanas, por serem úmidos, ainda que a umidade esteja sujeita a sazonalidade. Possuem duas estações definidas, as chuvosas e secas; e as precipitações médias anuais são superiores a 1000 mm. As plantas arbóreas possuem raízes que alcançam mais de 15 m, adaptadas para remover água das profundezas do solo. A água não é um fator limitador para o crescimento das árvores. A sazonalidade climática manifesta-se nitidamente na estrutura e no comportamento dos cerrados, que possuem distintas fisionomias e espécies que são desenvolvidas neles (CONTI; FURLAN, 2008).

Uma ampla parcela das espécies de plantas do Cerrado possui raízes pivotantes profundas, permitindo que frutifiquem e se reproduzam mesmo durante a seca. Além disso, sabe-se hoje que grande variedade de plantas possui xilopódios, órgãos lenhosos subterrâneos que protegem a vegetação contra o fogo, cuja descoberta levou alguns cientistas a concluir que a flora do cerrado seria uma vegetação “clímax do fogo” (COUTINHO, 1978 apud NASCIMENTO, 2001, p. 28). Portanto, adaptada às condições ambientais que o fogo propicia.

Posteriormente, confirmou-se que a principal causa da origem das diferentes paisagens do Cerrado é a baixa fertilidade natural do solo (CONTI; FURLAN, 2008). De acordo com os autores as espécies típicas dos cerrados se desenvolvem somente em solos ácidos e excessivamente carentes em bases trocáveis, principalmente em cálcio. O desenvolvimento dos cerrados é dominado pela formação do solo mais do que qualquer outro fator. De acordo com Agroicone (2018), áreas com aptidão agrícola no Cerrado, ou seja, as áreas destinadas à agricultura, corresponde a 35,5 milhões de hectares. Essa fronteira agrícola se expande na produção de grãos, principalmente da soja, sendo a região do MATOPIBA (área que

compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) considerada atualmente a principal fronteira agrícola do Brasil.

Os organismos do bioma Cerrado estão adaptados não a um evento de fogo, mas a um regime de queima definido pela época do ano e pela frequência de ocorrência. Alterações nesse regime de queima podem modificar a resposta dos organismos ao fogo, uma vez que as consequências do fogo envolvem a resposta à energia liberada durante a combustão do material vegetal e às mudanças no ambiente pós-fogo. Os critérios que caracterizam o comportamento do fogo, como a intensidade da frente de fogo, a rapidez de disseminação da frente de fogo e as características da chama, podem explicar as diferentes respostas dos organismos às queimadas realizadas em diferentes períodos do ano (IBAMA, 2010).

Mesmo que o fogo seja um fator importante para o Cerrado, ele não é aplicado, ou seja, benéfico para todas as formações vegetais desse domínio. Queimadas de grandes dimensões, como as que são utilizadas por fazendeiros, prejudicam os animais como os mamíferos, os tamanduás-bandeira, que são rapidamente incinerados devido à pelagem espessa e longa, muito inflamável. O fogo também destrói as matas de galeria que protegem os cursos d'água. As queimadas de pequenas áreas são, contudo, integradas ao ecossistema dos cerrados. As gramíneas, na ausência do fogo, podem dominar a diversidade dos cerrados e tornar as áreas impróprias para a rica fauna do cerrado. O fogo promove o rebrotamento de várias espécies do estrato herbáceo, criando habitats para a ema e o veado-campeiro (CONTI; FURLAN, 2008).

Segundo Nascimento (2001), se o Cerrado for estruturado em sequências de porte (altura) de seus conjuntos de formações vegetais, acredita-se poder sugerir uma linha de raciocínio para medir os efeitos do fogo sobre ele. O cerrado “*stricto sensu*” e o campo sujo, são estruturas constituídas a dois “*scrubs*”, e a forma retorcida de suas árvores e arbustos, segundo Ramos (1990 apud NASCIMENTO, 2001, p. 33), “se deve à ocorrência do fogo, fazendo com que suas gemas de rebrota ocorram lateralmente, após queimada as gemas terminais dos ramos”. Portanto, como a ação do fogo ocorre apenas no estrato gramíneo/herbáceo, o tempo de queima é muito curto, mesmo que as labaredas alcancem maiores proporções.

Em outras formações vegetais do bioma Cerrado os padrões mudam. O Campo Limpo estrutura-se sobre o mesmo tipo de solo que o Campo Sujo e o Cerrado “*Stricto Sensu*”, porém, não há uma transição visível entre este e as veredas, onde os solos já são excessivamente hidromorfizados, com aumento da matéria orgânica em decomposição em seus horizontes superficiais, causando mudanças mais sensíveis; assim como o aumento da

biomassa pela ocorrência de palmáceas, dando ao fogo uma maior permanência e, conseqüentemente, a geração de maiores graus de calor sobre o solo (NASCIMENTO, 2001). Ainda segundo o autor, nas formações de maior porte, como o cerradão e as matas ripárias, o acúmulo de matéria orgânica e biomassa são suficientes para gerar efeitos desastrosos como em qualquer formação florestada.

Os incêndios florestais podem comprometer a biodiversidade do Cerrado, pois nessa situação o uso do fogo não é uma prática controlada. “Para a prevenção, controle ou extinção de um incêndio é importante entender o comportamento do fogo, ou seja, a maneira pela qual o fogo se propaga, reagindo às influências de combustíveis, ao tempo atmosférico (clima) e à topografia” (LACERDA, 2013, p. 15). Como mencionado, as formações vegetais desse bioma reagem de forma diferente em relação aos efeitos do fogo, algumas delas se adaptam e às queimadas se tornam benéficas, e em outras podem ter efeitos negativos. Nesse bioma, o uso do fogo é importante para produção agrícola, inclusive as populações indígenas o fazem há milhares de anos, mas podem ocorrer situações em que o fogo pode fugir do controle, assim como em latifúndios onde as queimadas podem tomar maiores proporções e causar prejuízos irreparáveis.

Nas culturas indígenas, os anciãos sempre se orientam pelos sinais da natureza para planejar suas atividades, inclusive as que precisam do uso do fogo, utilizando-o conforme os sinais que indicam os diferentes tempos do ciclo da natureza. No caso da queimada da roça, esse conhecimento busca conciliar entre o horário certo de colocar fogo e o momento em que a chuva cai, visando evitar incêndios florestais. Segundo os anciãos, existem vários sinais que orientam o momento certo de colocar o fogo. Mas eles falam também que esses sinais estão mudando, que o clima está mudando e que: “Essa mudança influi no calendário de atividades e faz com que não se tenha clareza do momento certo de colocar o fogo na roça e aumenta o risco de seu alastramento, podendo ocasionar um incêndio florestal” (ISA, 2010 apud LACERDA, 2013, p. 45). Além disso, a gradativa perda da identidade cultural por certos povos indígenas pode comprometer o modo como é feita a prática de utilização do fogo e trazer malefícios para a vegetação, solo, fauna, cursos d’água, dentre outros.

A ocorrência periódica de incêndios florestais no território brasileiro tem causado sérios prejuízos aos biomas como no Cerrado, a fim de atenuar esse impacto o artigo 40 da Lei 12.651 que cria o novo Código Florestal do Brasil estabelece que seja responsabilidade do Governo Federal a implantação de uma Política Nacional de Manejo e Controle de Queimadas, Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, que possa promover a articulação institucional com objetivos na “substituição do uso do fogo no meio rural, no controle de

queimadas, na prevenção e no combate aos incêndios florestais e no manejo do fogo em áreas naturais protegidas” (BRASIL, 2012, p. 1).

A política mencionada no Art. 40 da Lei 12.651, § 1º terá que dispor instrumentos para observação dos danos das queimadas sobre alterações climáticas e modificações no uso da terra, conservação dos ecossistemas, saúde pública e de todos os animais, para contribuir em planos táticos de precaução de incêndios florestais. Assim como, § 2º terá que analisar panoramas de alterações climáticas e possíveis aumentos de risco de episódios de incêndios florestais (BRASIL, 2012). Sendo assim, essas estratégias visam proteger o meio ambiente e consequentemente áreas protegidas como as TIs, pois, as alterações no clima, assim como as práticas rudimentares de subsistência com o uso do fogo podem intensificar o regime de queimadas e causar incêndios florestais comprometendo a vegetação, os animais e as comunidades locais e indígenas que habitam essas áreas.

No Brasil, segundo Lacerda (2013), duas instituições federais possuem autorização legal para contratar, temporariamente, brigadistas para trabalhar na estação seca, mais predisposta à ocorrência de incêndios florestais, sendo elas: o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por intermediação do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo), que contrata brigadistas para trabalhar em municípios críticos; e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), que contrata brigadistas para atuar em Unidades de Conservação (UCs) federais. Essas brigadas são treinadas e equipadas para exercer as atividades de combate a incêndios florestais, inclusive em TIs, quando acionadas.

Portanto, as queimadas e os incêndios florestais devem ser monitorados, pois o bioma Cerrado com todas suas características ambientais: clima, solo, relevo, hidrografia, diferentes formações vegetais, apresenta peculiaridades que proporcionam riquezas naturais, com diversidade de espécies de animais e vegetais. O Cerrado também possui rico potencial para produção agropecuária, e são particularmente importantes para as populações que vivem nessas áreas, como os indígenas que utilizam esses recursos naturais como alimentos, remédios, e até como fonte de renda. Apesar de o fogo ser considerado um elemento essencial para a manutenção da biodiversidade do Cerrado, deve ser feito comedido sob certo regime e frequência de queima, sem esses limites as consequências podem ser desastrosas, como a perda da vegetação nativa e de animais, que podem ser inseridos na lista de risco de extinção. Por fim, alternativas sustentáveis como a queima controlada podem minimizar os impactos causados nesse bioma tão ameaçado.

2.3 Sensoriamento remoto e uso e cobertura da terra

O sensoriamento remoto é uma tecnologia imprescindível para o monitoramento da superfície terrestre, pois fornece informações de inúmeros fenômenos naturais ou decorrentes das ações antrópicas. Segundo Suertegaray (2018, p. 98), “o desenvolvimento dos sensores remotos permitiu o imageamento do planeta à grande distância, isto transformou a representação da Terra, até então feita em globos e mapas, em imagens totais ou parciais de sua superfície”. Os sensores são responsáveis pela captação da energia eletromagnética que cada objeto natural ou artificial emite e/ou reflete, seja um corpo hídrico, vegetação, solo exposto, construções etc., que podem ser, posteriormente, representados por imagens ou curvas espectrais. Novo (2010) define sensoriamento remoto como sendo o uso conjunto de sensores, ferramentas para processamento de dados, dispositivos de transmissão de dados embarcados em espaçonaves, aeronaves ou outras plataformas, com o propósito de estudar inúmeros fenômenos que acontecem na superfície terrestre a partir de verificações e anotações das interações entre a radiação eletromagnética e os elementos que o constituem em suas mais diversas manifestações.

O termo Sensoriamento Remoto aparece a princípio em obras científicas em 1960 e tratava-se apenas da “aquisição de informações sem contato físico com os objetos” (NOVO, 2010, p.30). Daí por diante esse termo tem abrigado tecnologias e conhecimentos extremamente complexos oriundos de diversas áreas do conhecimento cartografia, botânica, física, engenharia eletrônica dentre outros. “É uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global” (MENESES, 2012, p. 1). Diante de inúmeros sensores, com diferentes resoluções seja, espacial, espectral, radiométrica ou temporal, suas imagens vão disponibilizar diferentes informações dependendo da função as quais eles foram designados, permitindo a identificação de qualquer objeto e análise espacial de determinada área com periodicidade, agilidade e precisão.

Atualmente são disponibilizados por meio dos sistemas de sensoriamento remoto informações frequentes e coerentes da superfície da Terra, as quais são aplicadas em várias finalidades dentre elas: agrícolas, urbanas, ecológicas, geológicas, cartográficas, florestais, oceanográficas, militares, limnológicas, hidrológicas e muitas outras (NOVO, 2010). As imagens produzidas por essa tecnologia, segundo Suertegaray (2018, p. 99), são uma “representação do espaço físico, aqui entendido como sinônimo de natural, mas como espaço passível de ser localizado, delimitado, medido”. Desse modo, um dos principais objetivos do

sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre a superfície terrestre para avaliação e mapeamento dos seus recursos e monitoramento ambiental (IBGE, 2001).

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) todos os objetos (naturais ou artificiais) da superfície do planeta, com temperatura superior a zero absoluto ($0\text{ K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), podem refletir, irradiar, propagar ou absorver seletivamente Radiação Eletromagnética (REM). A Energia Eletromagnética (EM) mais importante e conhecida em sensoriamento remoto é a energia solar. Os sensores captam informações da superfície terrestre por meio do fluxo de energia EM que incide sobre um objeto que sofre diferentes interações dependendo do material que o constituem podendo em parte ser irradiado, transmitido ou absorvido pelo objeto. “A refletância espectral de um objeto é dada pela razão entre a energia EM refletida e a energia incidente na superfície do mesmo” (IBGE 2001, p. 13).

Segundo Moraes (2002, p.16), “os objetos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas”. A radiação eletromagnética emitida pela vegetação é diferente do corpo hídrico, este também pode ter diferentes respostas espectrais dependendo da profundidade ou de materiais em suspensão encontrados, as construções, os solos, cada um possui um comportamento espectral diferente. Conforme IBGE (2001, p. 35), “a refletância dos materiais varia com o comprimento de onda. O registro gráfico da refletância ao longo do espectro eletromagnético fornece uma curva que descreve as propriedades radiométricas de um determinado material”. Cada curva específica do material é denominada de assinatura espectral e estabelece um padrão para identificação dos objetos por sensoriamento remoto (IBGE, 2001).

Essa tecnologia ao ser representada por imagem onde cada pixel é associado a informações semelhantes descrevendo um objeto real, por meio desse padrão é possível identificar os distintos modelos de uso e cobertura da terra. Podendo assim, realizar o levantamento do uso e cobertura da terra que, de acordo com IBGE (2013, p. 36), “indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre”, desse modo é possível definir as classes de uso e cobertura da terra e sua representação espacial. Mas para que essa classificação ocorra é necessário realizar pesquisas de gabinete e de campo, direcionadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem referentes aos tipos de uso e cobertura da terra tendo em vista sua classificação e espacialização por meio de cartas (IBGE, 2013).

O mapeamento do uso e cobertura da terra traz informações importantes que possibilitam fazer planejamentos ambientais e territoriais, sendo um valioso instrumento de análise das mudanças na cobertura terrestre e danos ambientais causados pelas ações antrópicas, como desmatamentos, incêndios florestais, expansão urbana desordenada, ocupação irregular de áreas protegidas dentre outras. Segundo Rosa (2001 apud MOTA et al., 2013), a partir desse mapeamento é possível compreender os padrões de organização espacial, permitindo a avaliação das consequências do uso inadequado das terras. Para IBGE (2013), ao descrever as formas e a dinâmica de apropriação da terra, estes estudos também representam ferramenta para a construção de indicadores ambientais e para avaliação da capacidade de sustentação ambiental, frente aos diferentes manejos aplicados na produção, contribuindo assim para a identificação de possibilidades que fomentem a sustentabilidade.

Sendo assim, é importante saber diferenciar o termo uso e cobertura da terra já que de acordo com Mota et al. (2013), provoca confusão no conceito de cada um, pois os termos uso da terra e cobertura da terra se assemelham a ponto de se confundir em alguns casos, porém não são equivalentes. Dentre as várias definições existentes, o termo uso da terra está associado às atividades orientadas pelo homem relacionadas com uma dimensão de terra ou a um ecossistema, foi considerado como uma sequência de intervenções desenvolvidas pelos homens, com a finalidade de adquirir produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996, apud IBGE, 2013). Ou seja, atividades humanas ligadas diretamente a terra pelo fator socioeconômico. Em relação à cobertura da terra segundo Turne e Meyer (1994 apud MOTA et al., 2013), refere-se ao estado físico, químico e biológico da superfície da terra, como, cobertura vegetal com floresta, água, ou áreas de construção. Isto é, envolvem os elementos naturais e antrópicos.

As definições atribuídas ao uso e a cobertura da terra guardam uma relação recíproca e costumam ser aplicadas alternadamente. De um modo geral as atividades antrópicas estão associadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele agrícola, florestal, industrial ou residencial. O sensoriamento remoto disponibiliza dados como imagens de satélite e fotografias aéreas que podem ser associados com a cobertura da terra e utilizados para mapeamento do tema. No entanto, como a atividade não é registrada pelo sensor remoto de modo direto, mas características da superfície terrestre que representam o revestimento do solo, relacionadas à cobertura as atividades de uso da terra, podem ser interpretadas a partir de tonalidades, modelos, formas, texturas, organizações espaciais das atividades e posição no campo (IBGE, 2013).

Sendo assim, é necessário que o pesquisador, ao realizar a interpretação da imagem, a faça com atenção e tenha conhecimento, assim como informações de campo que tornam eficazes os dados resultantes dos sensores remotos. Ao analisar a imagem o intérprete realiza a identificação das diferentes assinaturas espectrais que possuem padrões específicos característicos dos diferentes tipos de cobertura da terra. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os alvos na imagem apresentam distintos comprimentos de onda ou faixas espectrais. Por exemplo, uma floresta pode apresentar-se em tonalidades verde escuro, vermelho ou verde intenso dependendo da combinação entre as imagens e cores adquiridas em diferentes faixas espectrais do sensor. Este captura, num determinado comprimento de onda, a energia refletida pelo objeto, desse modo, objetos claros refletem mais energia (menor absorção) como solo exposto, enquanto objetos escuros como água com ausência de sedimentos, refletem menos energia (maior absorção) (INPE, [s.d]).

O analista tem a liberdade de explorar as possíveis combinações de três cores no modelo RGB (Red, Green e Blue) com três bandas, para obtenção da imagem colorida que resulte em melhor contraste entre os alvos de interesse. Ainda que esse artifício visual das cores dependa da qualidade de contraste de cada banda, ele é controlado pela seleção apropriada das bandas em atribuição do comportamento espectral dos objetos presentes na imagem, o que exige do fotointérprete experiência e conhecimento sobre o comportamento espectral dos objetos. Não basta somente habilidade do intérprete em processamento de imagem (MENESES, 2012). Em relação aos dados de uso e cobertura da terra a composição de bandas realizada pelo intérprete irá “realçar” o comportamento espectral do objeto de interesse, como exemplo, área urbana, área queimada, desmatamento etc. Essas ações deixam cicatrizes na superfície terrestre que podem ser observadas e analisadas para mapeamento do tema.

Para Sabins (1999 apud FERRARI, 2008), a utilização do sensoriamento remoto no mapeamento do uso e cobertura da terra de certa área tem papel essencial, pois proporciona a oportunidade da realização de um inventário sistemático da superfície terrestre, possibilitando a categorização dos diferentes usos e cobertura da terra em classes. Segundo o autor, quando o mapeamento estiver vinculado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), será possível compreender a evolução da dinâmica espacial do uso e cobertura da terra com a produção de sequências temporais de mapas de uma mesma área, afirmando serem informações fundamentais para o planejamento da maioria das atividades desenvolvidas em diferentes escalas.

No entanto, segundo Mota et al. (2013), sabe-se que o uso e cobertura da terra não permanecem inalterados por longos períodos, tornando importante sua análise e atualização frequente. Por meio do MapBiomias (2019), a partir dos mosaicos Landsat são realizadas as classificações que tem como resultado os mapas de uso e cobertura da terra anual do território brasileiro. O propósito é realizar a atualização dos mapas de uso e cobertura da terra cada vez que houver aperfeiçoamento nos algoritmos de classificação com o objetivo de aperfeiçoar a categorização de cada tipologia. Essa análise realizada anualmente permite avaliar as mudanças e a dinâmica ambiental determinadas, principalmente, pelas ações antrópicas.

2.4 Monitoramento e mapeamento de incêndios florestais

Os incêndios florestais comprometem o meio ambiente e sua biodiversidade. Inúmeras espécies de animais e vegetais são atingidas pelo fogo descontrolado, causando também empobrecimento dos solos. Segundo Batista (2004), além dos incontáveis prejuízos aos ecossistemas florestais, os incêndios têm importância ecológica fundamental em razão de sua influência sobre a poluição atmosférica e mudanças climáticas, que têm consequências diretas e indiretas sobre os habitats e os ecossistemas. Ainda segundo o autor, as ameaças que estas áreas de florestas sofrem em razão à demanda de novas áreas designadas às atividades agropecuárias têm expandido significativamente a quantidade de incêndios e a ampliação das áreas queimadas. Portanto, mesmo o homem estando ciente que essas práticas podem ser prejudiciais à saúde humana, o faz em prol do desenvolvimento econômico.

Condições climáticas, vegetação, topografia e atividades antrópicas em constante interação ao longo do tempo afetam as características dos incêndios. Em escala regional, as características predominantes dos incêndios são controladas principalmente pelo clima, por definir a quantidade de umidade do combustível e o volume de biomassa, assim como pelo tipo de vegetação encontrada. Além disto, uso do solo e topografia interfere na frequência, velocidade de propagação e extensão das áreas queimadas. Em contrapartida, as atividades antrópicas têm influências sobre as características dos incêndios, inclusive alterando a periodicidade, área queimada e medida de disposição das ocorrências (CHANG et al., 2015 apud TORRES et al., 2017).

Os incêndios florestais podem ser classificados, segundo Lacerda (2013), como:

- **Subterrâneos:** esse tipo de incêndio se alastra sob o solo, por meio da combustão de matéria orgânica seca, estratos de folhas, raízes, tocos, madeiras em decomposição em brasa. Por causa da compactação dos combustíveis vegetais, seu avanço pela área

afetada é lento e provoca grandes estragos às raízes causando a morte das árvores, assim como atinge de maneira letal a microfauna, prejudicando a fertilidade dos solos e tornando-os mais vulneráveis a processos erosivos. É difícil sua identificação, assim como seu combate e desaparecimento.

- **Superficiais:** essa forma de incêndio ocorre na superfície do solo, alastrando-se pela vegetação morta e rasteira, como as gramíneas e herbáceas; o estrato de folhas, galhos e demais, que se depositam sobre o solo da mata; troncos, húmus; enfim, todo combustível vegetal até aproximadamente 1,80 m de altura. Esses combustíveis são em geral altamente inflamáveis, especialmente ao longo da estação seca. Por causa dos combustíveis leves, os incêndios florestais superficiais são caracterizados por uma disseminação relativamente rápida, excesso de chamas e muito calor.
- **Aéreo ou de copa:** esse tipo de incêndio espalha-se por meio das copas das árvores, afetando as folhagens. As árvores atingidas de modo geral morrem. Sua disseminação é muito rápida, incitadas pela circulação do vento, relevo e materiais inflamáveis. Por causa da sua velocidade de propagação, são os incêndios que mais provocam prejuízos à vida humana e selvagem, assim como às construções rurais e habitações em áreas próximas a bosques. Seu combate é bastante perigoso e impõe medidas indiretas de extinção do fogo.

As ações humanas são responsáveis pelas razões mais habituais de incêndios florestais. Vettorazzi e Ferraz (1998, p. 111) os tipificam como: “incêndios criminosos; focos de incêndios causados por cigarros; prática de pequenas fogueiras; prática de cultos religiosos; e descontrole do fogo usado para queimada da cana-de-açúcar e limpeza de pastos em áreas vizinhas”. Além disso, quando um menor foco não é controlado rapidamente, o incêndio é instituído e sua contenção é agravada por inúmeros motivos, como: dimensão do fragmento; falta de meios próprios de contenção; lentidão na detecção; ausência de acessos apropriados etc. Deste modo, o uso de métodos de prevenção de incêndios, assim como a realização de uma organização planejada de combate, são possibilidades prováveis para diminuição de episódios de incêndios (VETTORAZZI; FERRAZ, 1998).

De acordo com Lacerda (2013), a prevenção tem o objetivo de adotar medidas que busquem eliminar as possíveis origens ou causas de incêndios florestais, assim como reduzir os riscos de disseminação do fogo, constituindo-se como uma das mais relevantes etapas de um plano de proteção contra incêndios florestais. Segundo Batista (2004), a velocidade e a eficiência na localização e monitoramento dos incêndios florestais são essenciais para a viabilização do controle do fogo, diminuição das despesas nas ações de combate e

amenização dos danos. Além do mais, para o autor, o conhecimento inapropriado da localização do incêndio e dimensão da área queimada afeta a estimativa do impacto do fogo sobre o meio ambiente. Desse modo, as técnicas de detecção e monitoramento de incêndios florestais são indispensáveis para o planejamento do controle, assim como para o dimensionamento das consequências geradas pelo fogo sobre o meio ambiente (BATISTA, 2004).

Os métodos de detecção de incêndios florestais que podem ser utilizados dependem das características do local e, principalmente, da dimensão da área a ser monitorada. Para Lacerda (2013), no caso das Terras Indígenas, esse monitoramento pode ser:

- **Monitoramento fixo:** são utilizados locais estratégicos de observação, que possibilitam uma boa visualização da área, contribuindo para a localização dos incêndios em estágio inicial. A vigilância pode ser feita em torres, casas, mirantes naturais, reservatórios de água, árvores etc. Esses pontos podem ser identificados em cada aldeia, e turnos de vigília com revezamento podem ser combinados nas comunidades.
- **Monitoramento móvel:** baseia-se na realização de rondas com o objetivo de detectar focos de incêndios iniciais. Deve compreender as áreas prioritárias (locais onde ficam as roças, áreas em torno das aldeias) e aquelas com maior risco de incêndios, principalmente, as áreas que não se encontram protegidas pela vigilância fixa. Podem ser utilizados, para a realização dessa função, diferentes meios de transporte: animais, carros, caminhonetes, motocicletas, bicicletas, barcos e ainda helicópteros.
- **Monitoramento por satélite:** fundamenta-se na detecção de focos de calor captados por sensores acoplados aos satélites posicionados na órbita terrestre. Tais sensores captam e registram qualquer temperatura superior a 47°C, interpretando-a como sendo “foco de calor”.

De acordo com Batista (2004), o monitoramento dos incêndios florestais em países com grande dimensão territorial como o Brasil, pode ser realizado por meio de imagens de satélites, que é um recurso eficaz e de baixo custo, quando comparado com as outras formas de detecção. Segundo o autor, a utilização dos satélites viabiliza os planejamentos das ações de controle de incêndios florestais, regulamentação nas ações de uso do fogo controlado, assim como a avaliação dos impactos causados pelo fogo na atmosfera. Mas, não menos importante, o monitoramento fixo e móvel são mais viáveis em áreas de pequena extensão, pois possibilita a identificação e localização dos focos de incêndios com mais precisão.

Em relação à extensão territorial das Terras Indígenas, principalmente as que se localizam na Amazônia Legal, torna-se indispensável à observação dos fenômenos que acontecem sobre a superfície da Terra a partir de imagens adquiridas por sensores embarcados em satélites, tornando esse modo de aquisição de informações territoriais mais eficientes, rápida e barata. Deste modo, sensoriamento remoto torna-se a melhor ferramenta para monitorar degradação, desmatamentos, incêndios florestais e mudanças no uso e ocupação em Terras Indígenas (BRASIL, 2020). O Centro de Monitoramento Remoto (CRM) é uma plataforma criada pela Funai que disponibiliza, desde o ano de 2015, informações retiradas de imagens de satélite. Por meio destas é possível a detecção de alterações como degradação, corte raso, desmatamento em área de recuperação e fogo em floresta (BRASIL, 2021).

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), cotidianamente o INPE, desde 1998, disponibiliza informações sobre os focos de calor detectados por inúmeros sistemas sensores embarcados em satélites. As informações dos percursos noturnos dos satélites Terra e Aqua (sensor MODIS) e dos satélites NOAA são carregados na base de dados do IBAMA. Por entremeio de um SIG, imagens de satélites e diversas bases com dados minuciosos sobre o território brasileiro, as áreas com risco de ocorrência de incêndios são reconhecidas pela equipe de monitoramento. Após a identificação dos focos de calor nas áreas de perigo, iniciam um sistema de vigilância que os caracteriza conforme a insistência, a localidade e o perigo que apresentam. Nas estatísticas são utilizados os dados detectados dos satélites NOAA-12 noite (a partir de junho de 1998 a agosto de 2007) e NOAA-15 noite (desde agosto de 2007) com focos de calor (BRASIL, 2019).

No site do Programa Queimadas do INPE, é possível ter acesso a base de dados das queimadas do território brasileiro, assim como vários sistemas de monitoramento como o Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional (CIMAN), tem como objetivo integrar dados provenientes de satélites com fotos, informações e pormenores dos grupos que se encontram em campo combatendo o fogo em tempo real. Já o Sistema de Monitoramento e Alertas para Queimadas (TerraMA2Q), tem a função de monitorar, analisar e alertar sobre queimadas e incêndios florestais para contribuir nas decisões de gestores ambientais, enquanto o TerraBrasillis disponibiliza dados geográficos de monitoramento ambiental com o cruzamento dos focos de queimada, desmatamento e dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Também é possível ter acesso a boletins diários das Áreas de Proteção Ambiental e TIs com focos ativos, dentre outros. Além disso, o programa disponibiliza informações, relatórios e publicações voltados para as queimadas no território nacional (BRASIL, 2022).

Segundo Batista (2004), vários pesquisadores têm realizado análises e exposto metodologias para ampliar a credibilidade da detecção de incêndios por meio de imagens de satélite. O início da análise destes estudos são as informações minuciosas obtidas dos registros de ocorrências de incêndios. Informações acerca dos incêndios ocorridos em determinada região, tais como: localização, dimensão da área afetada, tipo de vegetação atingida, dados em relação ao comportamento do fogo (intensidade, velocidade de disseminação, combustível vegetal consumido etc.), são essenciais para a comparação com as imagens obtidas dos satélites nos mesmos horários e locais. A primeira etapa para avaliação da eficácia do sistema de monitoramento de incêndios, por meio do sensoriamento remoto é a disponibilidade de registros acerca da ocorrência de incêndios, com o objetivo de poder fazer a comparação dos focos de calor detectados pelos satélites com os incêndios que realmente aconteceu.

Um dos fatores mais importantes quando se trabalha com monitoramento ambiental por satélites são as condições meteorológicas. A presença de nuvens é uma das principais limitações da utilização de imagens ópticas na identificação de incêndios florestais. A periodicidade e a distribuição destes incêndios também estão fortemente relacionadas às condições meteorológicas. Por meio do monitoramento dessas condições é possível se realizar previsão do risco de incêndios, através do cálculo de índices de risco, estabelecendo-se para um determinado período as áreas com maiores possibilidades de ocorrência de incêndios. A análise simultânea de variáveis meteorológicas, ou índices de risco de incêndios, e focos de calor propiciam uma melhor descrição dos incêndios florestais de uma determinada região, diminuindo a quantidade de falsos alarmes. As propriedades da cobertura vegetal também são variáveis condicionantes da qualidade e confiabilidade da identificação de incêndios florestais por satélites (BATISTA, 2004). Assim como os combustíveis vegetais, que se manifestam de várias formas em relação à queima de diferentes coberturas vegetais.

O monitoramento desses fatores por meio do sensoriamento remoto disponibiliza diversos dados e imagens de satélites que podem ser aliados ao geoprocessamento e a um SIG que são capazes de fornecer dados de diversas fontes e relacioná-los com o espaço. Um SIG, de acordo com Vakalis et al., (2004 apud TORRES et al., 2017), possibilita a habilidade de coletar, sobrepor, manusear e visualizar uma grande quantidade de informações, que podem ser consequentes a começar pela análise da probabilidade de início de um incêndio florestal, da sua capacidade de disseminação e das consequências relacionadas. Ele pode ser um instrumento para o gerenciamento de todos os envolvidos que precisam adotar as ações indispensáveis para a proteção contra os impactos associados a incêndios, assim como indicar

o local com precisão, o momento em que os incêndios ocorreram e a maneira de execução dessas medidas.

Com a utilização desse sistema é possível obter, segundo Vettorazzi e Ferraz (1998, p. 112), “mapas estratégicos de combate, com a localização de estradas, corpos d’água, núcleos urbanos e na obtenção de mapas de risco de incêndios, ou seja, mapas que mostrem regiões com maiores ou menores probabilidades de ocorrência de incêndios”. Portanto, esse ambiente fornece informações que potencializam os estudos de determinada área, objetivando identificar possíveis alterações ambientais, assim como, realizar um prognóstico e combater os incêndios florestais. Os mapas também podem fornecer a dinâmica do comportamento do fogo ao longo de anos permitindo realizar planejamentos para prevenção de incêndios de determinada área.

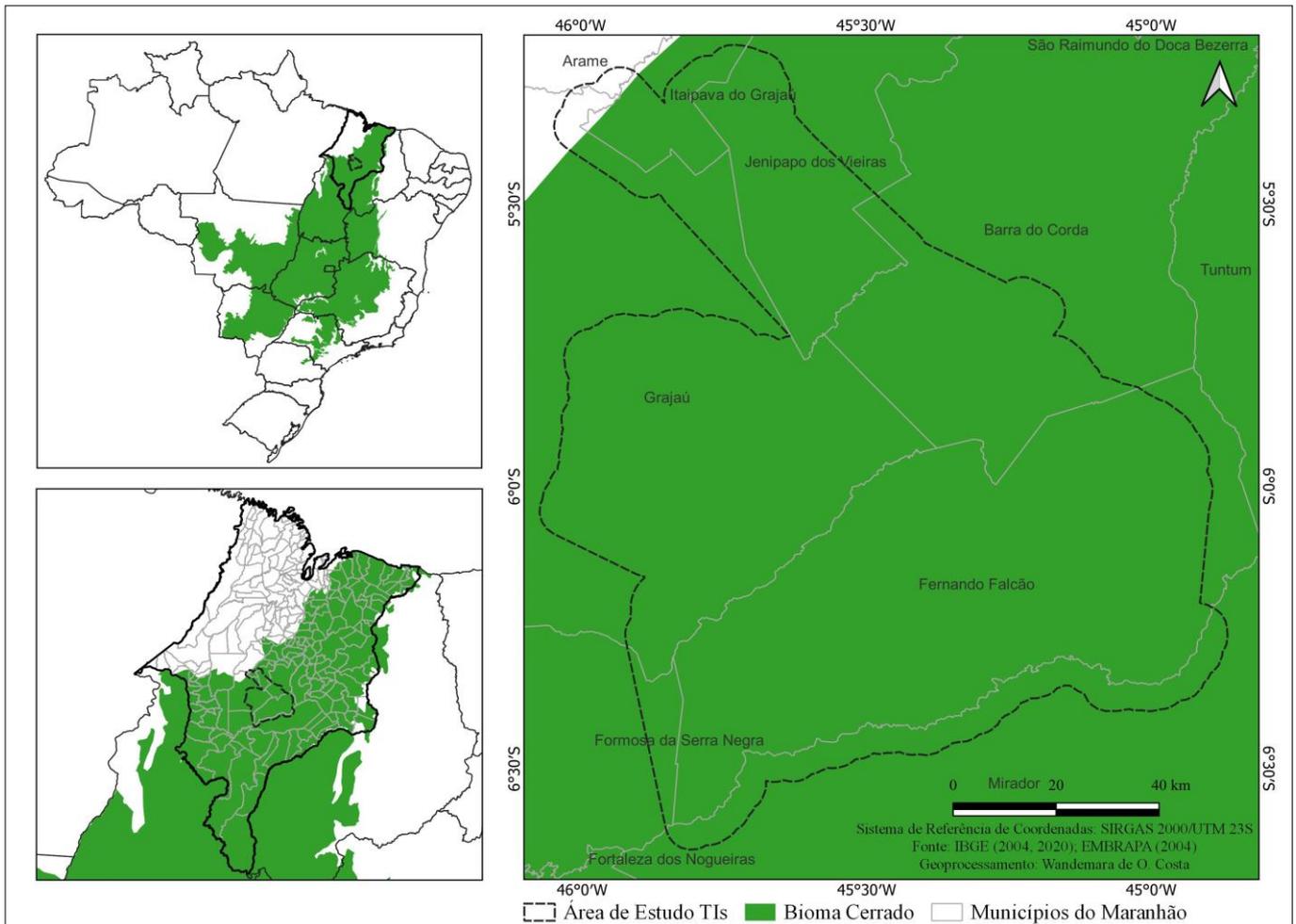
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área correspondente as TIs em estudo, assim como qualquer porção do espaço geográfico é de acordo com Bertrand (2004, p. 141), “o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. O espaço geográfico está em constante transformação por fenômenos geológicos, geomorfológicos, climáticos, pedológicos, antrópicos etc. Isto é, estão em contínua interação, onde as características de cada um desses processos vão refletir nos demais componentes da paisagem. Bertrand (2004) menciona que a melhor avaliação do problema é dada pela vegetação que se comporta como legítima síntese do meio. E, por meio do uso e cobertura da terra é possível compreender as alterações da paisagem natural, inclusive, a dinâmica do fogo no bioma Cerrado, que se comporta de diferentes maneiras devido as suas diferentes formações vegetais.

3.1 Localização das Terras Indígenas (TIs)

A área de estudo, o objeto deste trabalho, localiza-se na porção central do estado do Maranhão, as coordenadas do centróide da área são de 6° de latitude sul e 45°30’ de longitude oeste de Greenwich a uma distância, em linha reta, de aproximadamente 397,6 km de São Luís, capital do estado. Os municípios situados na área que corresponde as TIs são: Grajaú, Barra do Corda, Fernando Falcão, Itaipava do Grajaú e Jenipapo dos Vieiras. Assim como, Arame, Formosa da Serra Negra e Mirador são cidades circunvizinhas destas (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



Fonte: elaborado pela autora (2021).

São territórios compreendidos pelo bioma Cerrado. Este bioma tem sido classificado como um ecossistema dependente do fogo, com eventos ocorrendo naturalmente dentro de limites prescritos pela sazonalidade climática e por outros fatores, como o tipo de vegetação e a topografia (HARDESTY et al., 2005). A área engloba dez Terras Indígenas (Bacurizinho, Porquinhos, Porquinhos dos Canela-Apanyekrá, Cana Brava, Kanela, Kanela/Memortumré, Lagoa Comprida, Urucu-Juruá, Rodeador e Morro Branco), sendo duas destas já com atuação do Prevfogo e Ibama: Bacurizinho e Porquinhos.

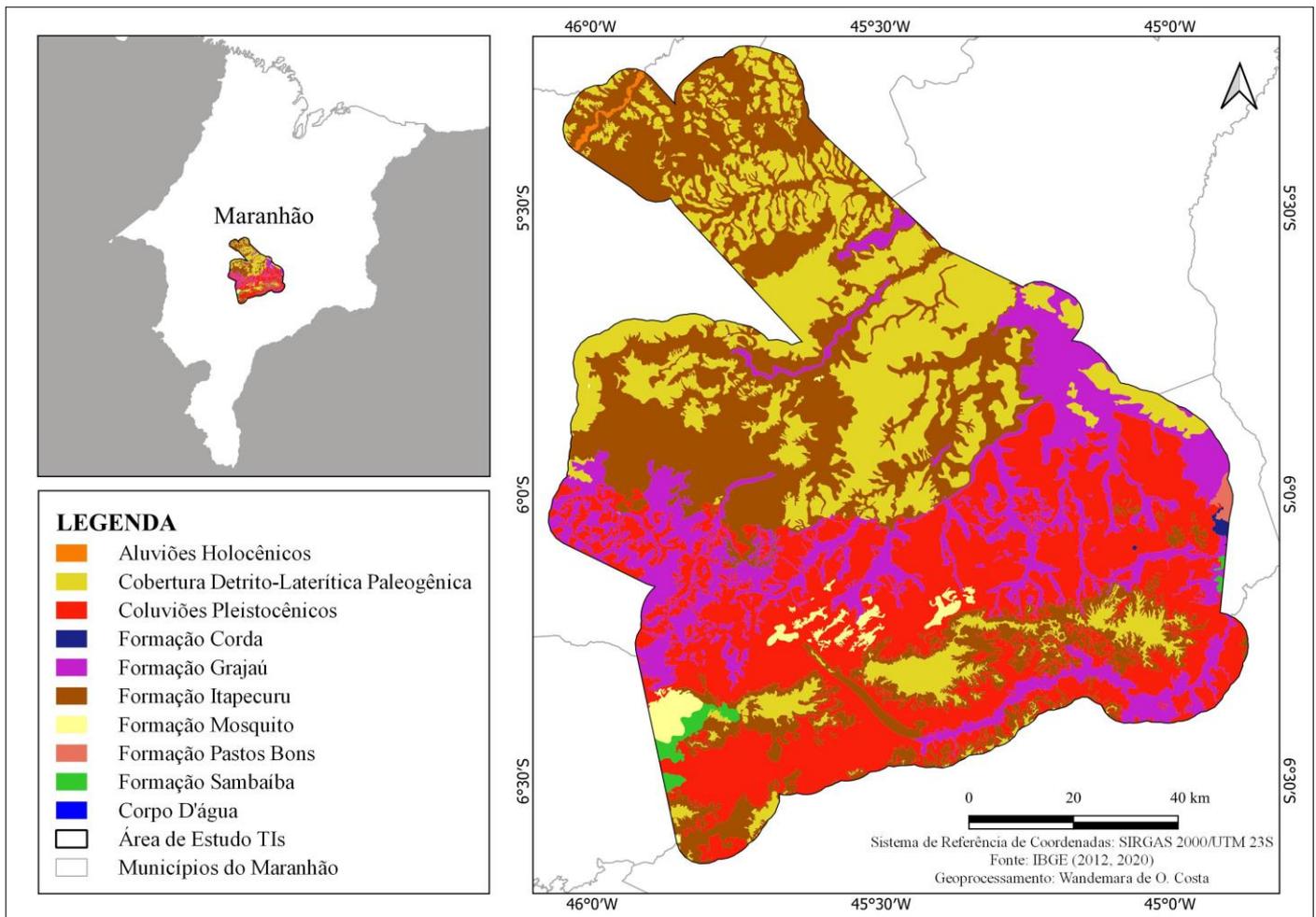
Além destas dez TIs indicadas, considera-se, ainda, como área potencial de estudo a região de entorno dessas, a área de influência (*buffer*) de 5 km do limite externo dos territórios, perfazendo-se uma área total de aproximadamente 12.123 km². Tais áreas possuem características distintas quanto aos atributos geoambientais, importantes para compreensão da configuração da paisagem e suas alterações. Buscou-se caracterizar os aspectos físicos que compreendem as TIs como: geologia, geomorfologia, clima, hidrografia, pedologia,

vegetação, assim como, os diferentes usos e coberturas das terras e relacioná-los aos incêndios florestais.

3.2 Geologia

As rochas sedimentares ocupam 98% do estado do Maranhão. A área que corresponde as Terras Indígenas em estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba que possui particularidades na sedimentação com base em certas características físicas de suas rochas. No caso específico da área de estudo, datadas do Éon Fanerozoico, parte das rochas depositou-se na era Mesozoica (formações Corda, Grajaú, Itapecuru, Mosquito, Pastos Bons e Sambaíba) e na era Cenozoica com a deposição de sedimentos recentes como aluviões holocênicos, cobertura detrito-laterítica paleogênica e coluviões pleistocênicos (CPRM, 2013). No mapeamento do IBGE realizado em escala de 1:250.000, na área de estudo como citado foram identificadas nove (9) unidades geológicas (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de Unidades Geológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



Fonte: elaborado pela autora (2021).

As características geológicas influenciam diretamente no compartimento do relevo, assim como na formação dos solos, tendo como resultado diferentes fisionomias vegetais. A Formação Itapecuru distribui-se por toda a área das TIs compreendendo cerca de 31% da área total, também denominada de “depósitos cretácicos continentais” (VICALVI; CARVALHO, 2002, p. 83) é uma unidade litoestratigráfica “abrangendo arenitos de granulação fina e coloração cinza-clara ou avermelhada; ocorrem intercalações de folhelhos, argilitos e siltitos, bem como níveis de arenitos finos com intensa cimentação carbonática” (CAMPBELL, 1949 apud VICALVI; CARVALHO, 2002, p. 83). Essa formação geológica sofre menos processos erosivos, os solos são mais estruturados fisicamente e há a formação de uma vegetação de maior porte, menos propensa aos incêndios florestais, que age como barreira contra ação do fogo, no entanto quando atingida os efeitos podem ser destrutivos (Tabela 1).

Tabela 1 - Áreas correspondentes as unidades geológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão

Unidades geológicas	Área (km ²)	Área (%)
Aluviões Holocênicos	17,15	0,14%
Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica	2742,49	23%
Coluviões Pleistocênicos	3568,47	29%
Formação Corda	10,24	0,08%
Formação Grajaú	1850,15	15%
Formação Itapecuru	3702,08	31%
Formação Mosquito	149,84	1%
Formação Pastos Bons	19,70	0,16%
Formação Sambaíba	62,37	1%
Corpo D'água continental	0,44	0,004%
Total	12122,92	100%

Fonte: IBGE (2012).

A Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, constituída por sedimentos recentes, caracteriza-se por expor um perfil laterítico completo, conforme caracterizado por Costa et al. (1985 apud RODRIGUES et al., 2003) acontecendo da base para o topo os horizontes argilosos e mosqueados, resultando com uma espessa crosta laterítica luminosa, que constituem as principais substâncias minerais de bauxita e caulim do Brasil. Na seção superior assoma um nível conhecido na literatura geológica de “Argila de Belterra”, a qual para alguns autores é de formação in loco, enquanto para outros seria do Período Terciário Inferior a Médio. A exploração desses minerais expõe os solos aos agentes erosivos, tornando-os susceptíveis, encontrados nas TIs podem ser fontes de interesse e extração ilegal.

A Formação Grajaú é composta, predominantemente, por arenitos e conglomerados (LIMA; LEITE, 1978 apud CPRM, 2013) depositados em ambiente de rios, deltas e eólicos

(MESNER; WOOLDRIDGE, 1964; LIMA; LEITE, 1978 apud CPRM, 2013). Na área de estudo essa formação aflora em trechos ao longo de rios, riachos, brejos etc., constituindo as matas ciliares, matas de galeria e as veredas que acompanham os cursos d'água. Sendo classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APP), segundo a Lei nº 12.651, Art. 3, do novo Código Florestal do Brasil, são ambientes protegidos, envoltos ou não por vegetação originária, com o papel ambiental de resguardar os recursos hídricos, [...]. Tendo como interesse social, as atividades imprescindíveis a preservação da plenitude da vegetação nativa, tais como combate, precaução e controle do fogo, [...] (BRASIL, 2012). Pois, essas formações vegetais são sensíveis aos efeitos do fogo.

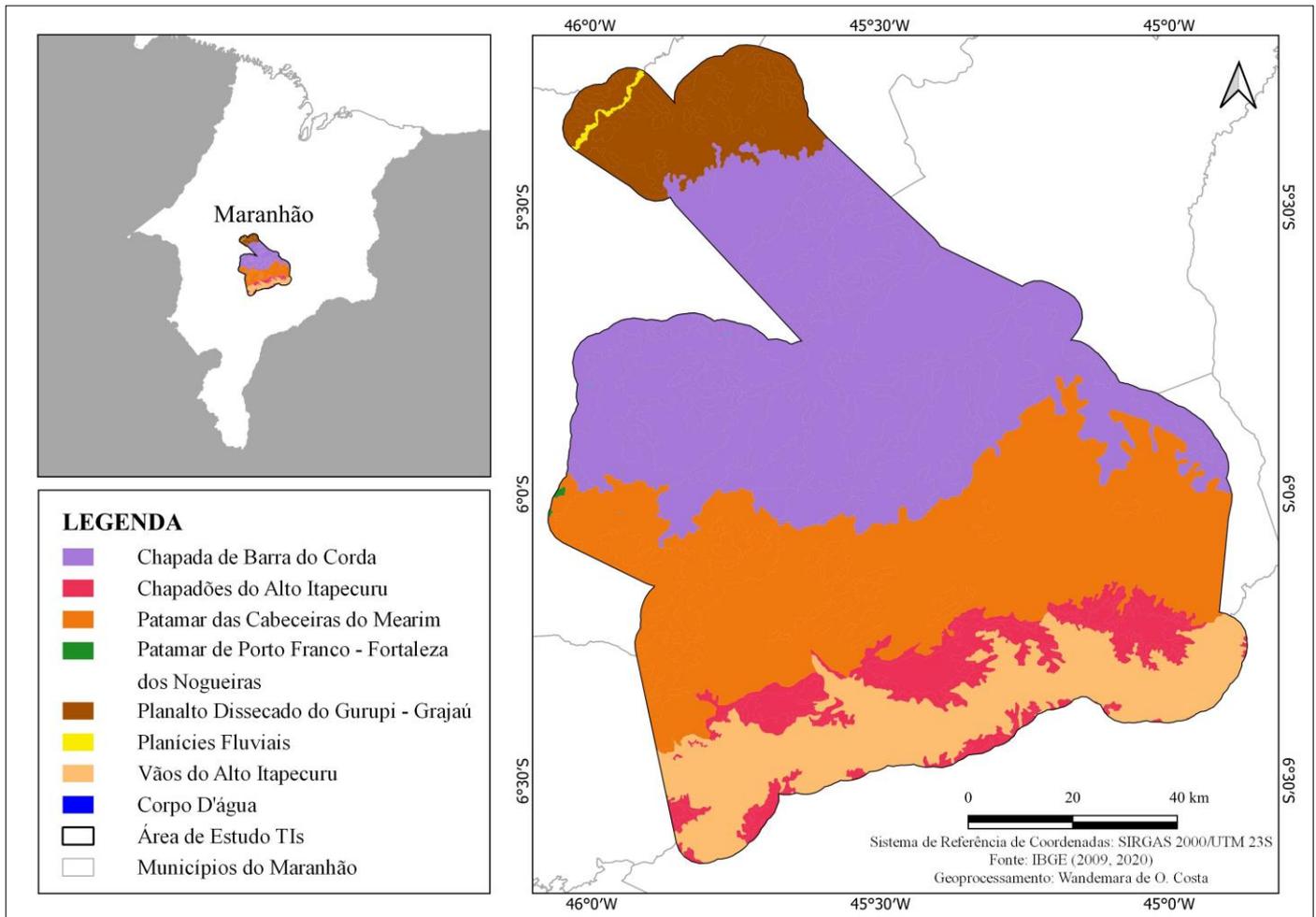
Os Coluviões Pleistocênicos correspondem ao período do Neógeno, há 23 Ma até os dias atuais, ocorre um processo de modificações pelas águas pluviais nas rochas dos platôs da área central do Maranhão e, às vezes, há desagregação e transporte desse material para as encostas desses platôs, que formam os chamados Depósitos Colúvio-Eluviais (CPRM, 2013). Neste caso, são áreas dissecadas pela erosão pluvial, que conduzem a formação limitada dos solos, assim como da vegetação, com predomínio da formação savânica e campestre que são fitofisionomias resistentes e adaptáveis ao fogo. Porém, alterações no regime de queima e incêndios florestais podem trazer consequências ao meio ambiente, como degradação dos solos, perda da biodiversidade etc.

3.3 Geomorfologia

Levando em conta que o comportamento do fogo é em maior parcela o resultado das condições climáticas e do combustível à disposição, é possível afirmar que a topografia influencia diretamente no comportamento do fogo. Esta, afeta as características dos ventos, assim como na localização dos diversos tipos de combustíveis, influi também em seu crescimento e inflamabilidade (GAYLOR, 1974 apud BATISTA, 2000).

O relevo maranhense é caracterizado por um agrupamento de superfícies tabulares desdobradas, de forma heterogênea, em diferentes cotas altimétricas, atribuídas a diferentes processos de soerguimento tectônico pós-cretácico da Bacia Sedimentar do Parnaíba e delineadas por ação de diversos eventos de aplainamento regional (BARBOSA et al., 1973; ROSS, 1985 apud CPRM, 2013). Na área de estudo foi possível identificar 7 (sete) unidades de relevo: Chapada de Barra do Corda, Chapadões do Alto Itapecuru, Patamar de Porto Franco-Fortaleza dos Nogueiras, Patamar das Cabeceiras do Mearim, Planalto Dissecado do Gurupi-Grajaú, Planícies Fluviais e Vãos do Alto Itapecuru (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de Unidades Geomorfológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



Fonte: elaborado pela autora (2021).

A Chapada de Barra do Corda é a unidade de relevo mais representativa na área das TIs, denominada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) de Baixos Platôs de Barra do Corda, constitui-se em um conjunto de extensas superfícies de aplanamento pouco dissecadas e dispostas, invariavelmente, em cotas baixas, entre 150 e 250 m. Esses baixos platôs são esculpidos por uma rede de drenagem dendrítica a subdendrítica, de baixa a moderada densidade (CPRM, 2013). Nessas áreas os solos são bem estruturados, com predomínio de Latossolos Amarelos, condicionando à formação de uma vegetação densa, susceptíveis aos efeitos do fogo. Além disso, o uso do solo para pastagem praticados nessa região pode trazer prejuízos como compactação do solo e redução da cobertura vegetal. Segundo CPRM (2013), em restritas porções com alta densidade de drenagem, os baixos platôs estão amplamente dissecados, em relevo de colinas tabulares. Também são encontradas formas de relevo de topos convexos. Nessas áreas os solos são mais expostos aos agentes erosivos (Tabela 2).

Tabela 2 - Áreas correspondentes as unidades geomorfológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão

Unidades Geomorfológicas	Área (km ²)	Área (%)
Chapada de Barra do Corda	4871,77	40%
Chapadões do Alto Itapecuru	900,14	7,43%
Patamar das Cabeceiras do Mearim	3867,72	32%
Patamar de Porto Franco-Fortaleza dos Nogueiras	3,22	0,03%
Planalto Dissecado do Gurupi-Grajaú	865,30	7%
Planícies Fluviais	17,16	0,14%
Vãos do Alto Itapecuru	1597,17	13%
Corpo D'água continental	0,44	0,004%
TOTAL	12122,92	100%

Fonte: IBGE (2009).

O Patamar das Cabeceiras do Mearim consiste em um agrupamento de fisionomias de topos estreitos e alongados, esculpidas em rochas cristalinas e, ocasionalmente, em sedimentos, mostrando controle estrutural, definidas por vales encaixados. Apresentam baixas cotas entre 50 e 150 m. Essa unidade também pode ser constituída por um conjunto de formas de relevo de topos tabulares, dispendo rampas levemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, demonstrando eventual controle estrutural. Assim como restritas áreas com formas de relevo de topos convexos e com superfície de aplanamento (IBGE, 2009). O relevo sofreu alteração por meio da ação dos processos de erosão resultando em porções da superfície de aplanamento e também de dissecamento, refletindo na fisionomia vegetal composta predominantemente pelas formações savânica e campestre que possuem diferentes comportamentos aos efeitos do fogo.

A unidade geomorfológica Vãos do Alto Itapecuru apresenta dissecação caracterizada por grande densidade de incisões consequentes, principalmente, da ação da erosão de chuvas sob forma de escoamento concentrado (torrencial); em certas áreas assume a feição de verdadeiro *badland* (IBGE, 2009). São áreas em que o relevo compromete a formação dos solos, com a presença dominante de Neossolos Litólicos, limitando o crescimento da cobertura vegetal, e após a ocorrência de incêndios florestais a erosão se intensifica podendo ocasionar o surgimento de solos expostos.

Nessa unidade, de acordo com IBGE (2009), também podem ser encontradas superfícies planálticas degradadas, os quais formaram sistemas de planos inclinados, em certas ocasiões ligeiramente côncavos. Aparece enterrada por coberturas formadas de detritos e/ou de transformação. Já os Chapadões do Alto Itapecuru correspondem a um relevo caracterizado predominantemente por superfícies dissecadas com topos variando de tabulares

à estreitos e alongados, podendo ser encontrado feições de relevo com declives muito acentuado e porções de aplanamento geralmente separados por escarpas (IBGE, 2009).

3.4 Hidrografia e Clima

O Maranhão é compreendido por uma extensa rede hidrográfica, sendo um dos estados do Brasil mais ricos em bacias hidrográficas de grandes extensões. Seus rios se diferenciam por serem permanentes e manterem expressivo volume de água durante o ano inteiro (FEITOSA; ALMEIDA, 2002 apud CPRM, 2013). Dentre as 12 regiões hidrográficas que compreendem o território brasileiro, o Maranhão está inserido em três delas: Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, Região Hidrográfica do Parnaíba e Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia.

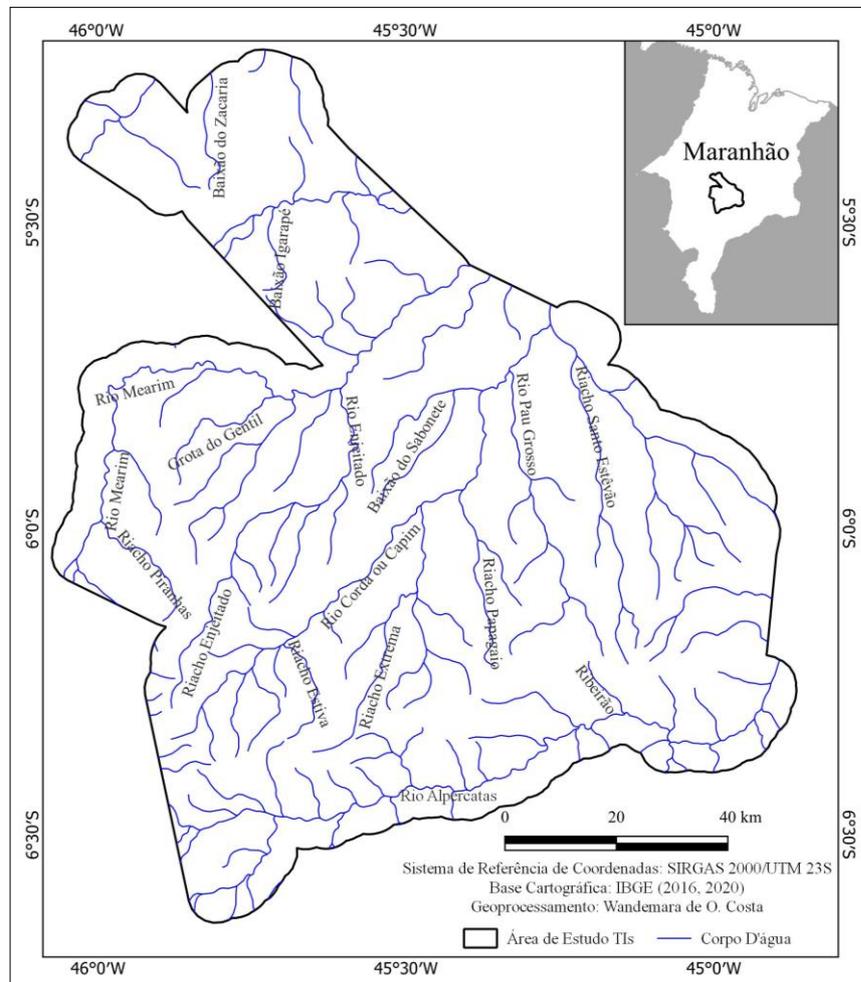
Essas regiões são subdivididas em 13 bacias hidrográficas, sendo nove delas de domínio exclusivo do estado: as bacias do rio Maracaçumé, rio Turiaçu, rio Pindaré, rio Grajaú, rio Mearim, rio Itapecuru, rio Periaá, rio Preguiças e rio Munim, e quatro são de domínio federal: as bacias do rio Gurupi, rio Ararandeuá, rio Parnaíba e rio Tocantins (CPRM, 2013). As principais bacias hidrográficas presentes nas TIs são dos rios Mearim, representada pelo rio de mesmo nome e pelo rio Corda ou Capim, e Itapecuru representada pelo seu afluente o rio Alpercatas (Figura 4). Esses rios se distribuem em vários canais formando rios de menores proporções (Pau Grosso, Ourives, Enjeitado dentre outros). Assim como, ribeirões, riachos, brejos, baixadas etc., que drenam toda a área (IBGE, 2016).

A hidrografia juntamente com os solos influencia na distribuição da formação florestal do Cerrado, se dividindo em dois grupos: as fitofisionomias associadas aos cursos d'água, geralmente em solos mais úmidos, e as que não possuem associação com cursos d'água (interflúvios), em solos mais ricos (PRADO; GIBBS, 1993; OLIVEIRA FILHO; RATTER, 1995 apud RIBEIRO; WALTER, 1998). Em ambientes próximos aos córregos e rios como as Matas de Galeria e as Ciliares, o fogo penetra com mais dificuldade, mesmo atingindo a serapilheira dessas matas. Enquanto as fitofisionomias distantes ou desassociadas aos cursos d'água, no caso da Mata Seca e do Cerradão, parecem mais sujeitas ao fogo que as anteriores (SILVA et al., 2005 apud IBAMA, 2010).

Essas situações ocorrem quando a formação florestal é atingida pelo fogo apenas na superfície do solo, entretanto, quando afetam a copa das árvores ou que atinge o dossel das matas, não ocorrendo com frequência, limitando-se a situações incomuns diretamente influenciadas por ações antrópicas, os impactos são mais drásticos, eliminando várias espécies de plantas (IBAMA, 2010). Segundo Sevilha (1999 apud IBAMA, 2010), o fogo ocorre com

mais frequência nas bordas da mata selecionada por uma vegetação tolerante a queimadas, enquanto o interior, raramente atingido pelo fogo, seria um refúgio tanto para as plantas como para os animais.

Figura 4 - Mapa de Hidrografia das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



Fonte: elaborado pela autora (2022).

As formações savânicas e campestres também possuem fitofisionomias na presença de corpos de água como o Palmeiral principalmente o Buritizal, as Veredas, circundadas por Campos Limpos geralmente úmidos e o Campo Sujo, em contato com lençol freático (RIBEIRO; WALTER, 1998). Ambientes próximos a corpos d'água quando atingidos por queimadas e incêndios florestais, de acordo com Dias (2008), destroem nascentes, intensifica o processo de erosão e assoreamento dos rios, diminui a capacidade de absorção da água na superfície e perda da capacidade de armazenar água, altera os ciclos das chuvas dentre outros.

Com relação às características climáticas e pluviométricas o estado maranhense apresenta variações, pois se encontra em uma área entre os climas semiárido e úmido equatorial, do interior do Nordeste à Amazônia. O clima tropical quente e úmido (As) é mais

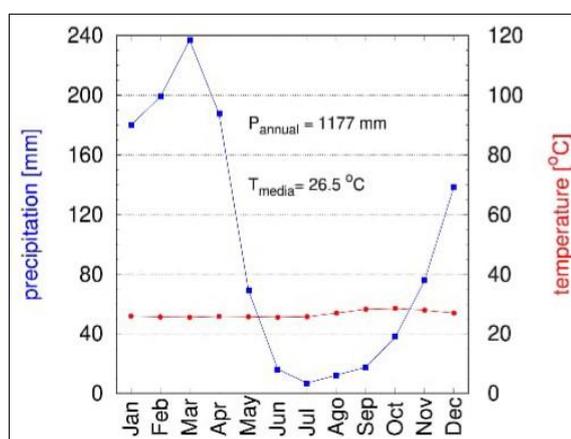
influyente na região oeste, característico da região amazônica. O clima tropical quente e semiúmido (Aw) definem as outras partes do território maranhense (CPRM, 2011).

Com temperaturas elevadas, as médias anuais podem atingir 26°C. O Maranhão é definido pela ocorrência de um regime de precipitação com dois períodos definidos. A estação chuvosa concentra-se entre os meses de dezembro a maio, apresenta registros pluviométricos com médias mensais de 290,4 mm, sendo o mês de março com maiores concentrações de chuvas. A estação seca acontece entre os meses de junho a novembro, com menor ocorrência de chuvas durante o mês de agosto, este apresenta médias de 17,1 mm. Entretanto, na região oeste do estado as chuvas ocorrem em níveis elevados no decorrer de praticamente todo o ano, com média superior a 2000 mm (CPRM, 2011).

Lima (2019) obteve dados climáticos correspondentes as TIs em estudo por meio de duas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a de Barra do Corda e Grajaú que ficam mais próximas da área. Ao comparar essas duas estações às demais encontradas no estado com relação ao regime de precipitação, os níveis mais baixos de chuvas ocorrem na região central justamente na área de estudo. O autor ressalta que os dados normais de chuva anual para cada estação do Maranhão baseiam-se em médias no período de 1981-2010. Sendo que a estação de Barra do Corda tem a menor precipitação média anual com 1177 mm, muito próximo de Grajaú com 1208 mm (LIMA, 2019).

Tendo como base o climograma de Barra do Corda construído por Lima (2019), é possível identificar os meses mais chuvosos entre dezembro e abril, sendo março o mês de maior nível de precipitação mensal com aproximadamente 240 mm. O mês de julho possui o menor nível de precipitação anual. Com relação à temperatura, o município possui baixa amplitude térmica anual e temperatura média anual de 26,5°C (Figura 5).

Figura 5 - Climograma de Barra do Corda, com base nos dados das normais climatológicas do Brasil 1981-2010



Fonte: Lima (2019).

A variação climática afeta fortemente as florestas e os incêndios florestais. Elementos meteorológicos, tais como: temperatura, umidade relativa, vento e precipitação têm consequências particulares sobre o comportamento do fogo, influenciando definitivamente a ignição e a propagação dos incêndios (BATISTA, 2000). Segundo Dias (2008), quanto mais baixo os níveis de chuva, maior predisposição para uma vegetação ressecada, favorecendo a combustão; quanto mais elevada a temperatura, maior perigo de combustão; ventos intensos e contínuos intensificam a evapotranspiração e reduzem a umidade relativa do ar; propiciando a disseminação do fogo. Quando esses índices de precipitação são mais elevados, a vegetação se torna mais densa, dificultando a combustão; nesse ambiente as temperaturas são mais amenas, assim como a umidade relativa do ar é mais elevada, dificultando a ação do fogo.

De acordo com Batista (2000), as precipitações mantêm o material florestal úmido, o que dificulta ou torna impossível o início e a propagação do fogo. Há uma forte correlação entre incêndios e extensos períodos de seca. Durante esse período os materiais transferiram umidade ao ambiente, tornando as condições extremamente propícias às ocorrências de incêndios. Entretanto, é preciso considerar não somente o acúmulo de precipitações, assim como sua distribuição sazonal. Locais onde as chuvas são bem distribuídas o ano inteiro, sem estação seca definida, tem menor potencial de ocorrência e propagação dos incêndios do que em determinados locais com estação chuvosa concentrada em alguns meses e os demais com períodos de estiagem (SCHROEDER; BUCK, 1970; SOARES, 1985 apud BATISTA, 2000).

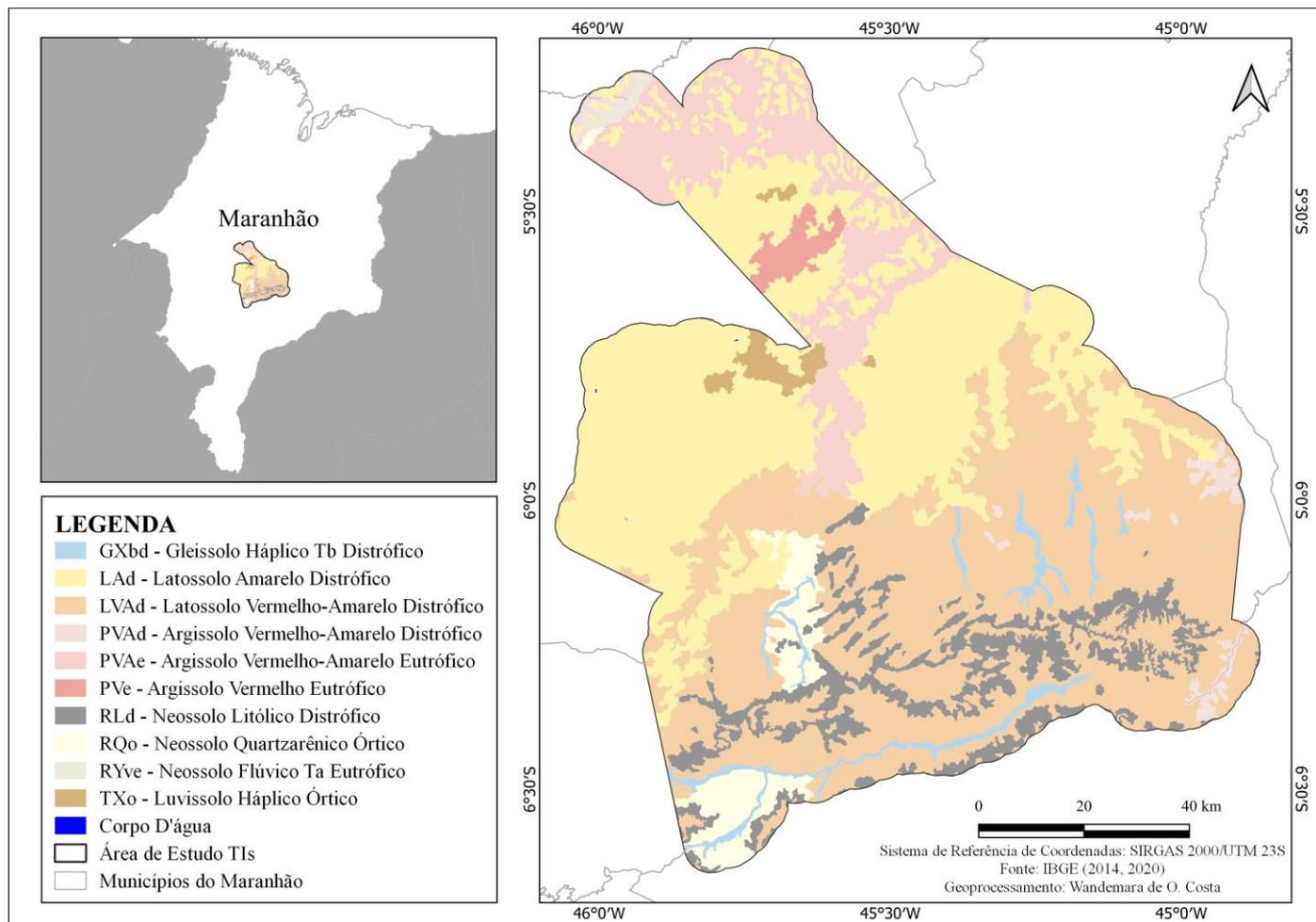
As áreas das TIs em estudo se concentram em ambientes de condições climáticas com duas estações definidas, a chuvosa e a seca. Uma pesquisa realizada por Melo (2019) no período de 2008 a 2017 identificou uma variação interanual no clima da região. Durante a estação seca os meses mais secos são de junho até outubro, sendo julho o mês de menor nível de chuva. Ainda segundo o autor, 97% das áreas queimadas aconteceram na estação seca. Esse alto percentual demonstra que o clima e a precipitação são fatores determinantes para a maior incidência de incêndios florestais.

3.5 Pedologia

Na área que compreende as TIs são encontradas associações de solos como: GXbd - GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; LAd - LATOSSOLO AMARELO Distrófico; LVAd - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico; PVAd - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico; PVAe - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico; PVe - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico; RLd - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico; RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico; RYve - NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico; e

TXo - LUVISSOLO HÁPLICO Órtico (Figura 6). Ressaltando que no mapa foi apresentado o primeiro componente de cada associação de solos.

Figura 6 - Mapa de Unidades Pedológicas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Os latossolos correspondem aos solos predominantes da área de estudo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Ciência do Solo (SiBCS) “latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura” (SANTOS et al., 2018, p. 193). Deste modo, são solos profundos e estruturados fisicamente, condicionados pelo relevo pouco dissecado. Nas TIs estes solos têm como cobertura vegetal dominante o bioma Cerrado, compreendido pelas formações florestal, savânica e campestre no qual cada uma reage de maneira diferente aos efeitos do fogo.

A unidade pedológica de maior predominância na área corresponde ao LVAd - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (cerca de 38% das TIs). Apresenta

saturação por bases < 50% em grande parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (incluindo BA) (SANTOS et al., 2018). As fisionomias predominantes nessa unidade pedológica são as formações campestres e savânicas, sua flora possui diversas espécies com características morfológicas (morfologia externa), anatômicas e fisiológicas adaptadas ao fogo (espécies pirofíticas) (IBAMA, 2010). Esses solos apesar de ter baixa fertilidade, por meio de técnicas de correção, tornam-se aptos as produções agrícolas como a soja. Porém, a utilização do fogo para práticas agrícolas segundo Dias (2008), pode ocasionar a perda da produtividade e da fertilidade depois da primeira colheita.

Em seguida abrangendo 35% das TIs o LAd - LATOSSOLO AMARELO Distrófico, possui as mesmas características da unidade pedológica anterior, porém se enquadra quanto a cor na classe que define os solos amarelos (SANTOS et al., 2018). Solos bem estruturados devido ao relevo pouco dissecado pelos agentes erosivos, possibilitando o desenvolvimento das formações florestais. Estas como são menos adaptadas ao fogo quando entram em contato com queimadas e incêndios florestais os efeitos podem ser destrutivos tanto para a flora como para a fauna. Além disso, de acordo com Dias (2008), são inúmeras as consequências para os solos como: diminuição da quantidade de matéria orgânica que envolve o solo, protegendo-o contra o ressecamento; perda de minerais; erradicação dos microorganismos que fazem parte da natureza etc.

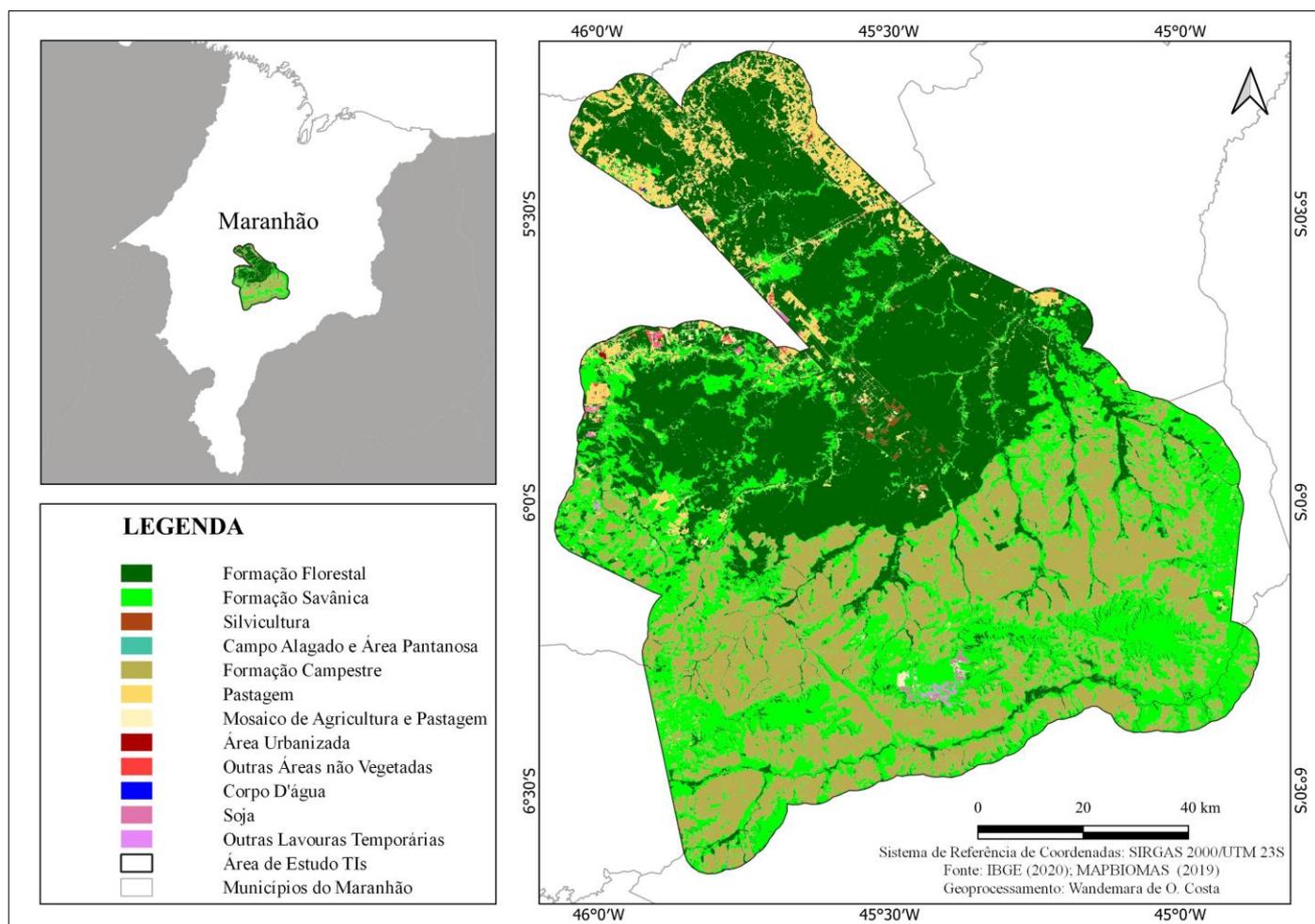
Representando 10% da área o PVAe - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico, possui saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (SANTOS et al., 2018). Na área das TIs a prática de pastagem predomina neste tipo de solo. Muitas dessas áreas de pastagens podem ser degradadas, de acordo com Dias Filho (2017), a degradação biológica é considerada a situação mais extrema de degradação da pastagem, pois há o aumento de solo exposto, propiciando a erosão, a perda de matéria orgânica e de nutrientes do solo, ou seja, o solo também sofre degradação.

O PVAe com o uso para pastagem pode comprometer sua alta fertilidade. Além disso, o fogo não deve ser utilizado como prática de manejo de pastagem (EUCLIDES FILHO; CORRÊA; EUCLIDES, 2002). Com relação à unidade RLd - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico equivale a 8% ao sul das TIs, apresenta saturação por bases < 50% na maior parte dos horizontes dentro de 50 cm a partir da sua superfície (Lemos, 1973, p. 364 apud SANTOS et al., 2018). São solos limitados quanto a sua formação devido ao relevo dissecado, tornando-os predispostos a erosão, e reduzindo o desenvolvimento da vegetação com predomínio da formação savânica.

3.6 Uso e Cobertura da terra

Os biomas brasileiros ao longo dos anos têm passado por intensas transformações decorrentes das sucessivas intervenções antrópicas, resultantes da expansão da infraestrutura urbana, agropecuária, desmatamento, queimadas, incêndios florestais etc. Utilizando a base de dados do MapBiomias (2020), foi possível fazer o mapeamento de uso e cobertura das TIs em estudo, onde foram identificadas 12 classes (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de uso e cobertura do ano de 2020 das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão



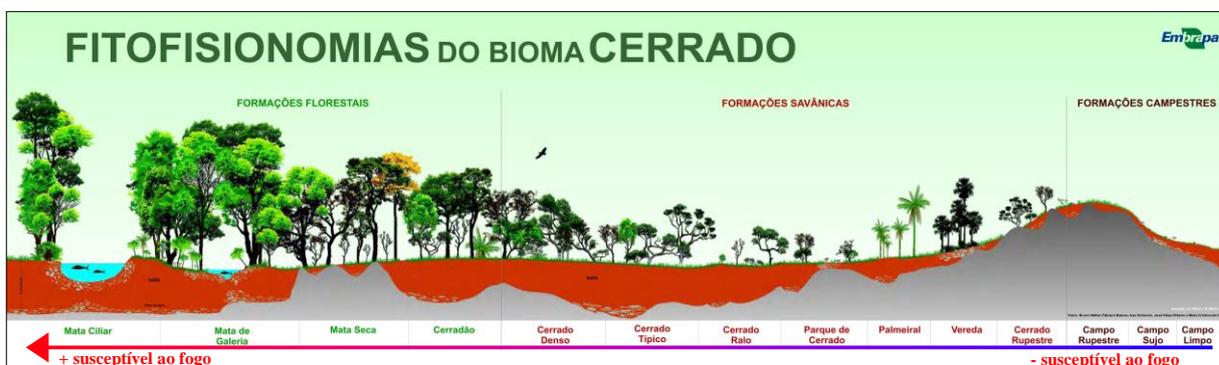
Fonte: elaborado pela autora (2022).

A área total estudada corresponde a aproximadamente 12.123 km², composta predominantemente pelo bioma Cerrado. A distribuição da sua flora, segundo Eiten (1994) apud Ribeiro e Walter (2008, p. 94), “é condicionada pela latitude, frequência de queimadas, profundidade do lençol freático, pastejo e inúmeros fatores antrópicos (abertura de áreas para atividades agropecuárias, retirada seletiva de madeira, queimadas como manejo de pastagens etc.)”. Abrangendo 38,2% das TIs, as formações florestais representam tipos de vegetação

onde predominam árvores com média superior a 15 m, com dossel contínuo. A Mata de Galeria e a Mata Ciliar são fitofisionomias associadas aos cursos d'água, podendo acontecer em solos bem ou mal drenados. O Cerradão e a Mata Seca não estão relacionados com os cursos d'água, mas ocorrem nos interflúvios em solos bem drenados (EMBRAPA [s.d]).

Dentre os tipos fitofisionômicos, as Matas de Galeria representam a vegetação menos adaptada ao fogo, seguida da Mata Ciliar e das Matas Secas e, por último, o Cerradão (IBAMA, 2010). Com exceção do Cerradão, as formações florestais possuem um ambiente úmido e sombreado que dificulta a entrada do fogo (Figura 8). Evolutivamente, não houve a necessidade das espécies das florestas do Cerrado se adequar ao fogo, como ocorreu com eficácia nas numerosas espécies das formações savânicas e campestres, ou seja, a capacidade de suportar o fogo recorrente em ambientes de florestas foi muito menor do que em áreas de savana. Dessa forma, eventos de fogo, de origem natural ou antrópica, quando invadem as formações florestais podem ser devastadores para inúmeras espécies ou suas populações, nos trechos atingidos (PARCA, 2007; SANTIAGO et al., 2005; SEVILHA, 1999 apud IBAMA, 2010).

Figura 8 - Grau de susceptibilidade ao fogo das fitofisionomias do bioma Cerrado



Fonte: Ribeiro e Walter (2008), adaptado pela autora (2022).

As formações savânicas, que correspondem 30% da área, apresentam-se com estrato herbáceo bastante marcante, contendo árvores e arbustos espalhados sem dossel contínuo sobre o estrato graminoso (EMBRAPA, [s.d]). São compostas por quatro fitofisionomias principais: Cerrado sentido restrito (Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre), Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda (IBAMA, 2010). As formações campestres ocupam 25,4% das TIs, são caracterizadas por apresentar estrato herbáceo predominante e baixa densidade de espécies arbustivas. Englobam três fitofisionomias: Campo Rupestre, Campo Sujo e Campo Limpo (EMBRAPA, [s.d]).

Dentre as formações savânicas e campestres, a Vereda, os Buritizais e os Campos Úmidos (Campos Limpos ou Sujos) são as fitofisionomias menos sujeitas aos grandes incêndios que ocorrem sobre as demais. Entretanto, em função das ações antrópicas, elas têm sido submetidas às queimas descontroladas, sem que se saiba a real consequência desses incêndios sobre a flora, a fauna, os microrganismos e a ciclagem de nutrientes (IBAMA, 2010). Portanto, os efeitos do fogo sobre o Cerrado ocorrem de maneira diferente em cada fitofisionomia. Ambientes com flora de menor densidade estão expostos às queimadas com mais frequência, porém, são as áreas com vegetação mais densas e úmidas que são mais susceptíveis as ações do fogo.

As consequências sobre a flora, segundo Dias (2008), vão desde mudanças de temperatura, de escassez hídrica e de nutrientes, perda de diversidade genética com a extinção de espécies, até ruptura na interação destas e/ou de ecossistemas. Mas, não se pode negar, entretanto, é que o fogo é um componente natural com a qual o bioma Cerrado convive e evolui há milhares de anos e não pode ser facilmente abolido nas ações de manejo de suas paisagens (IBAMA, 2010). Além de ser uma atividade de subsistência realizada pelos indígenas também a milhares de anos o que dificulta o abandono dessa prática nas TIs.

Essas formações florestais, savânicas e campestres do Cerrado juntas somam 93,6% da área de estudo constatando o predomínio da vegetação nativa, 4,8% correspondem à pastagem e os demais 1,6% encontram-se antropizados, incluindo o cultivo da soja que abrange aproximadamente 27 km² da área de estudo. As TIs inserem-se no conjunto dos quatro estados fronteiriços, Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia que formam a região do MATOPIBA, território pertencente ao bioma Cerrado com desenvolvimento agrícola de alta produtividade e com utilização intensiva de insumos modernos (PEREIRA; PORCIONATO; CASTRO, 2018).

Segundo os autores essa fronteira agrícola vem passando por transformações socioeconômicas, consequência da expansão agrícola, como produção de grãos, com destaque para soja, milho e algodão (PEREIRA; PORCIONATO; CASTRO, 2018). Em relação ao Maranhão, refere-se a um fragmento anexado tardiamente às manchas de modernização agrícola dessa nova fronteira (ARAÚJO et al., 2019). Ainda assim, requer atenção diante das alterações ambientais que podem trazer para as TIs, pois, a produção de grãos pode se expandir nesses territórios e comprometer as florestas nativas. Além disso, as queimadas praticadas pelos indígenas podem fugir do controle causando incêndios florestais e a consequência ser ainda maior para essa vegetação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

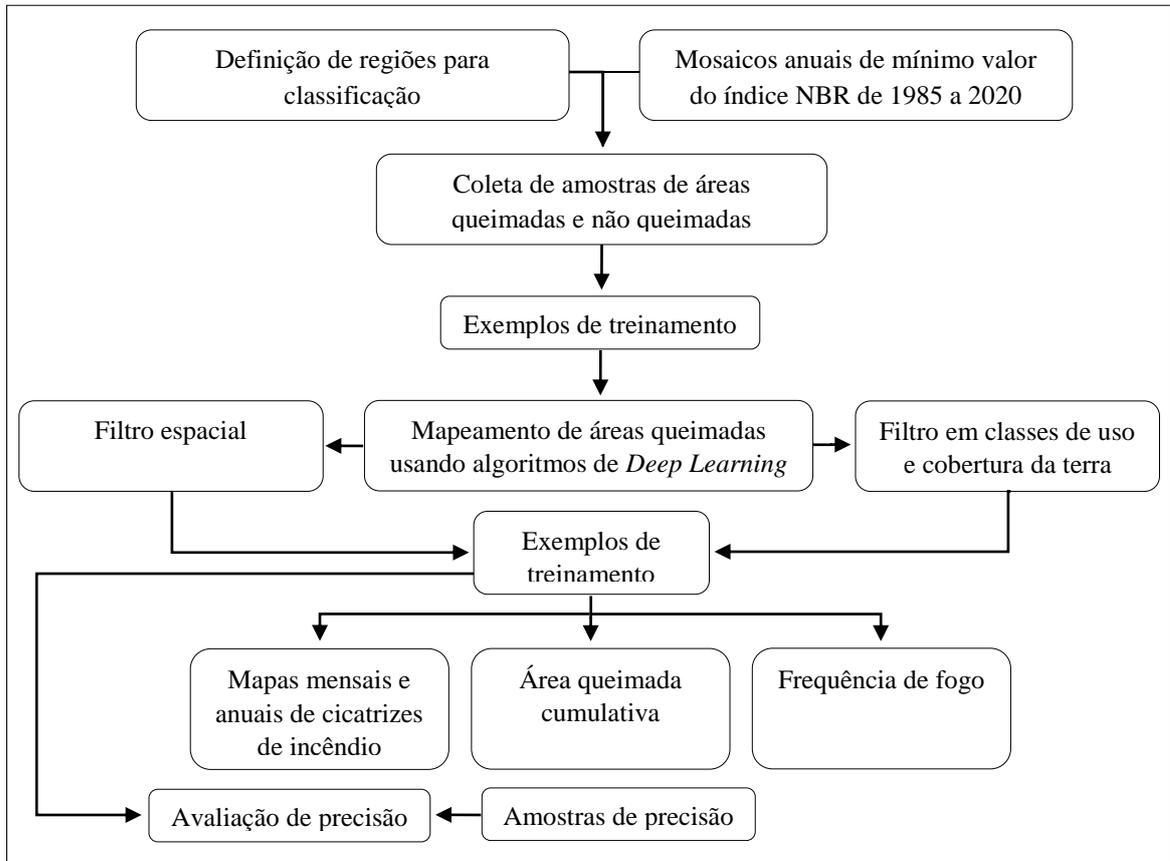
No primeiro momento efetuou-se uma pesquisa bibliográfica acerca do tema em artigos científicos, livros, dissertações, dados de órgãos públicos dentre outros permitindo o embasamento teórico da pesquisa. Também foi utilizada a base cartográfica do IBGE para produção dos mapas das variáveis geoambientais. E a base de dados do MapBiomias Fogo para elaboração dos mapas das cicatrizes de área queimada e o mapa de frequência de fogo. Para o geoprocessamento foi utilizado o *software* QGIS® (versão 3.20).

4.1 Origem e metodologia do MapBiomias

Como rede colaborativa o MapBiomias é constituído por universidades, startups de tecnologia e Organizações não Governamentais (ONGs), que mostra as transformações do território brasileiro tornando acessível o conhecimento sobre o uso da terra com o objetivo de buscar a conservação e combater as mudanças climáticas. O Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) originou-se em 2015 com o propósito de colaborar para a compreensão da dinâmica do uso da terra no Brasil e em outros países tropicais. São produzidos mapas anuais de uso e cobertura da terra desde 1985, ratifica e elabora relatórios para cada evento de desmatamento identificado no Brasil desde janeiro de 2019 e realiza o monitoramento mensal desde 1985 das cicatrizes de fogo e superfície d'água.

Os dados utilizados na pesquisa foram adquiridos por meio do MapBiomias Fogo que desenvolveu um método para o mapeamento das cicatrizes de fogo do Brasil no período de 1985 até 2020, baseado em mosaicos de imagens de satélite Landsat com 30 metros de resolução espacial, são dados mensais e anuais de cicatrizes de queimada envolvendo todo o território nacional. Todo o processo foi realizado de forma cooperativa entre as instituições MapBiomias e usando algoritmos de aprendizado de máquina (*Deep Learning*) por meio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) e *Google Cloud Storage* que oferecem enorme capacidade de processamento na nuvem. As etapas dos processos metodológicos de classificação das cicatrizes de fogo realizadas pelo MapBiomias estão sintetizadas no fluxograma (Figura 9). O Documento Base da Teoria do Algoritmo (ATBD) do MapBiomias Fogo apresenta detalhes dessa metodologia, disponível em: <https://mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo>.

Figura 9 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos de classificação de áreas queimadas no Brasil no MapBiomias Fogo



Fonte: MapBiomias (2019).

Em relação à primeira etapa da metodologia do MapBiomias Fogo, consistiu em definir as regiões para cada bioma para coletar amostras de treinamento e a classificação de áreas queimadas, com o propósito de obter uma classificação mais precisa com base em fatores edafoclimáticos e vegetação regional. Essa classificação foi produzida utilizando mosaicos Landsat de 30 metros de resolução espacial, segunda etapa da metodologia, foram avaliadas imagens do Landsat 5, 7 e 8 com intervalo de retorno de 16 dias no período de 1985 a 2020. Para cada cena, utilizando pixels com alta confiança, as nuvens e sombras de nuvens foram mascaradas. Para a criação dos mosaicos anuais foi realizada a composição de todas as imagens de 16 dias em uma única imagem, usando o mínimo de Índice de Queimada Normalizada (NBR) para cada uma das cenas (Equação 1).

Equação 1 - NBR mínimo

$$NBR = \frac{\lambda NIR - \lambda SWIR1}{\lambda NIR + \lambda SWIR1}$$

Key e Benson (2006) apud MapBiomias (2019).

Onde o NIR = Infravermelho Próximo, e SWIR = Infravermelho de ondas curtas.

Após a construção de um mosaico multitemporal utilizado para realizar a classificação da área queimada anual, a terceira etapa consistiu na coleta de amostras de treinamento de pixels de áreas queimadas e pixels de áreas não queimadas separadas por sensores Landsat 5, 7 e 8, assim como para cada bioma. Finalmente, foram divididas em 21 regiões do território brasileiro e utilizadas na quarta etapa a de classificação.

O modelo de classificação usado foi o Deep Neural Network (redes neurais profundas), que corresponde a modelos computacionais baseados em cálculos matemáticos capazes de realizar aprendizagem e reconhecimento de padrões visuais. O algoritmo de mapeamento de área queimada consistiu em duas fases: treinamento e predição. A partir das amostras de treinamento de áreas queimadas e não queimadas, as seguintes bandas espectrais foram utilizadas como entrada para o modelo de classificação de área queimada: (vermelho - 0,65 μm), (NIR - 0,86 μm) e (SWIR 1 - 1,6 μm e SWIR 2 - 2,2 μm). Assim como as bandas 2 a 7 dos satélites da série Landsat e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), os índices NBR e o Delta NBR foram testados. Estas bandas espectrais do Landsat foram selecionadas com base em sua sensibilidade a eventos de fogo.

Após treinar e testar o modelo, a classificação foi aplicada com imagens Landsat a cada quinze dias no decorrer de todo o período de análise (1985 - 2020). Um filtro espacial foi utilizado para remover ruídos e preencher pequenos espaços vazios: áreas menores ou iguais a 1,4 ha (16 pixels) foram removidas, e áreas vazias menores ou iguais a 5,8 ha (64 pixels) foram preenchidas como áreas queimadas. Depois da avaliação dos resultados da classificação, foram também utilizados filtros de pós-classificação, retirando pixels que estavam nas seguintes classes de uso e cobertura da terra da Coleção 6 do MapBiomas, no caso específico do bioma Cerrado: água e área urbanizada. Para conseguir a informação do mês em que a cicatriz de fogo foi mapeada, foi feito um processamento de pós-classificação para recuperar a informação da data do pixel que foi queimado, a partir da data do pixel em que o mosaico anual foi construído a partir do NBR mínimo.

A partir das imagens Landsat foram feitas as avaliações da classificação das cicatrizes de queimadas, com inspeção visual, estatísticas e relação com os dados de uso e cobertura da terra do MapBiomas, além de comparação com mapas de referência (MODIS, INPE, FIRMS, FireCCI). A validação dos mapeamentos de áreas queimadas foi realizada por bioma, considerando os anos 2007, 2011 e 2019. Cada um dos biomas foi dividido em áreas de 2 km por 2 km, espacialmente integrado aos dados de áreas queimadas do *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), para os mesmos anos, no qual as unidades amostrais foram agrupadas em quatro grupos para cada um dos biomas e para cada um dos anos: sem

ocorrência de fogo, com até 32% de ocorrência de fogo (com fogo), com ocorrência de fogo entre 32% e 70% (fogo médio) e com ocorrência de fogo acima de 70% (fogo alto).

Considerando cada unidade amostral selecionada, foi extraída uma imagem Landsat de mínimo NBR anual pelo GEE. Em seguida foi realizada a segmentação automática utilizando o software QGIS, esses segmentos foram interpretados para determinar se estavam em áreas com ou sem ocorrência de incêndio. Com a interpretação de todos os segmentos, em seguida foram obtidos os centróides dos mesmos (pontos de validação). Por meio destes foi possível fazer a validação de áreas queimadas e não queimadas, foram espacialmente integrados com os mapeamentos do MapBiomias Fogo, tornando possível avaliar as qualidades dos mapeamentos e obter a acurácia da classificação.

Em relação às estatísticas de fogo, os dados das áreas queimadas cumulativas são construídos a partir do pixel que é contabilizado apenas uma única vez como área queimada, independentemente de ter ocorrido mais de uma ocorrência de incêndio no ano. Quanto aos dados da frequência de fogo foram elaborados a partir do agrupamento da área queimada em cada ano, em um mapa com período de 1985 a 2020 são geradas 36 classes, onde a classe 1 representa os pixels que queimaram uma vez, a classe 2 os pixels que queimaram duas vezes e assim por diante. Tanto os dados acumulados de área queimada, assim como de frequência de fogo por tipo de uso e cobertura da terra são feitos a partir do cruzamento destes considerando o último ano do período. É importante ressaltar que todas as etapas descritas acima se referem à metodologia adotada pelo MapBiomias Fogo.

4.2 Dinâmica espaço-temporal das cicatrizes de área queimada e frequência de fogo

Para a espacialização das cicatrizes de área queimada nas TIs no período de 2001 a 2020, foi utilizada a base de dados do MapBiomias Fogo, sua metodologia foi descrita no tópico anterior. Primeiramente as imagens foram extraídas do GEE e todo o geoprocessamento foi realizado no software QGIS 3.20. Para cada ano foi produzido um mapa de cicatrizes de área queimada, onde foi possível identificar os anos que mais queimaram e os anos que menos queimaram. Essas estatísticas seguem um padrão de intervalo entre um a dois anos no crescimento das áreas queimadas (ALVARADO et al., 2017; ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017).

Por meio das Estatísticas Zonais pode-se realizar a contagem da área queimada para cada classe de uso e cobertura da terra do mesmo ano correspondente. Dessa maneira foi possível identificar as fisionomias que mais queimaram nas TIs, a expansão das áreas queimadas em cada classe e sua distribuição espacial. Para o mapa da frequência de fogo do

período de 2001 a 2020 foi gerado 19 classes, no qual a classe 1 representa os pixels que queimaram uma vez, a classe 2 os pixels que queimaram 2 vezes, e assim sucessivamente, conforme a metodologia do MapBiomias Fogo (2019). Foi realizado o cruzamento do mapa de frequência de área queimada com o uso e cobertura da terra do ano de 2020, sendo possível identificar as fisionomias que tiveram mais recorrência de fogo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

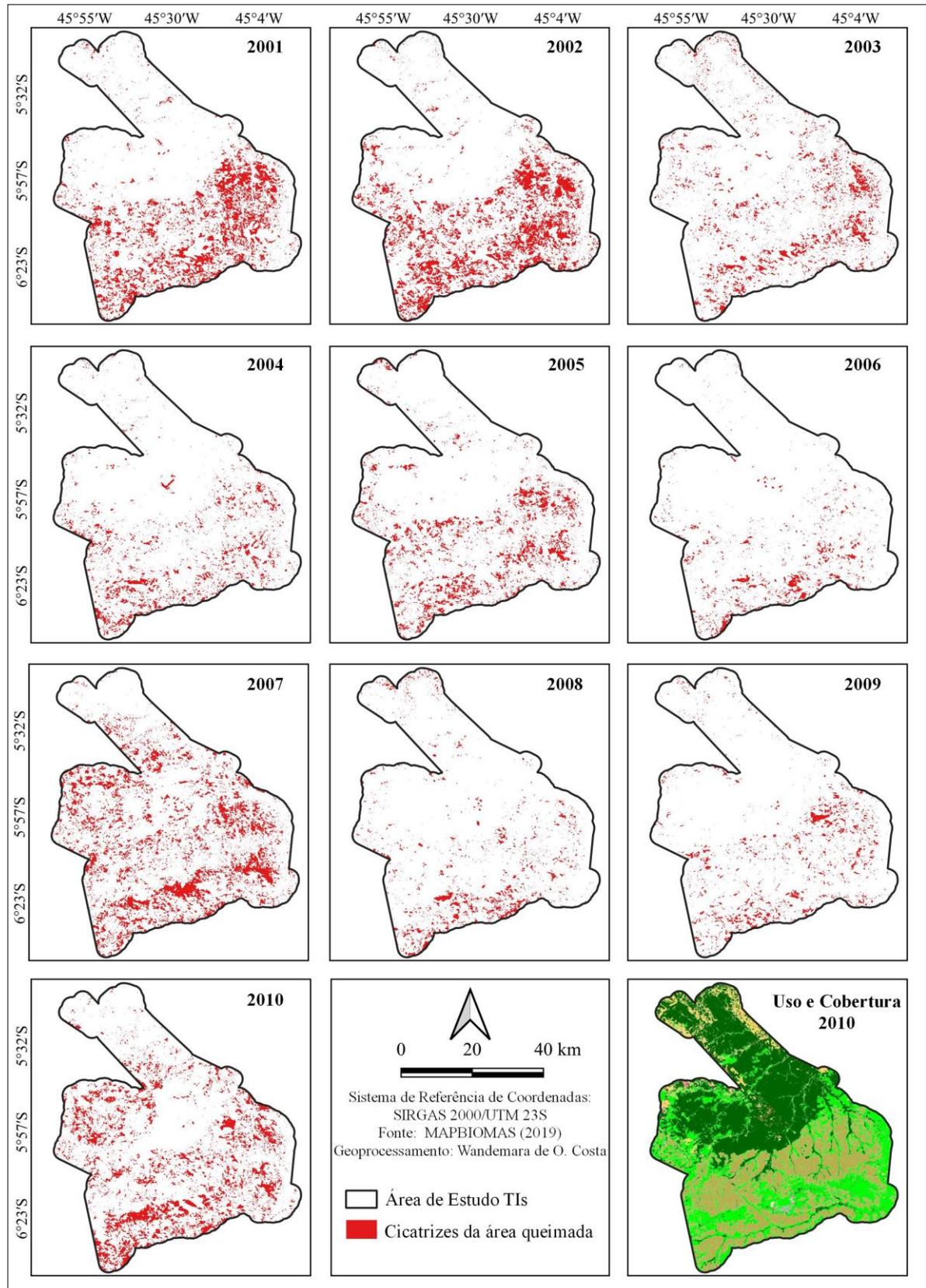
5.1 Análise das cicatrizes da área queimada

Ao analisar as cicatrizes de fogo nas TIs em estudo foram detectadas 28.838,46 km² de áreas queimadas no período de 20 anos, ao compará-las ao uso e cobertura da terra foi identificada uma variação anual das cicatrizes, assim como sua disposição acerca de cada classe. No decorrer de duas décadas houve crescimento e diminuição da área queimada, a ocorrência de fogo se concentra principalmente na região sul e sudeste do território indígena, área compreendida justamente pelas fisionomias de formação savânica e campestre onde o fogo atua com frequência. A área de estudo é compreendida predominantemente pelo bioma Cerrado que possui características de adaptação ao fogo, além das condições favoráveis para a agropecuária. É importante ressaltar que os espaços em branco representam as áreas que não foram queimadas em cada ano (Figura 10).

As áreas de cicatrizes de fogo no ano de 2001 correspondem a 1.953,17 km², ou seja, 16,1% da área total de estudo (Gráfico 1). A classe de formação florestal apesar de maior extensão, com aproximadamente 4.857,5 km², possui um percentual de apenas 1,2% de área queimada confirmando suas características de vegetação que dificulta a entrada do fogo. Enquanto, as fisionomias de formação campestre e savânica, além de extensas áreas, possuem 31% e 24,5% respectivamente das suas fisionomias afetadas pelo fogo (Tabela 3).

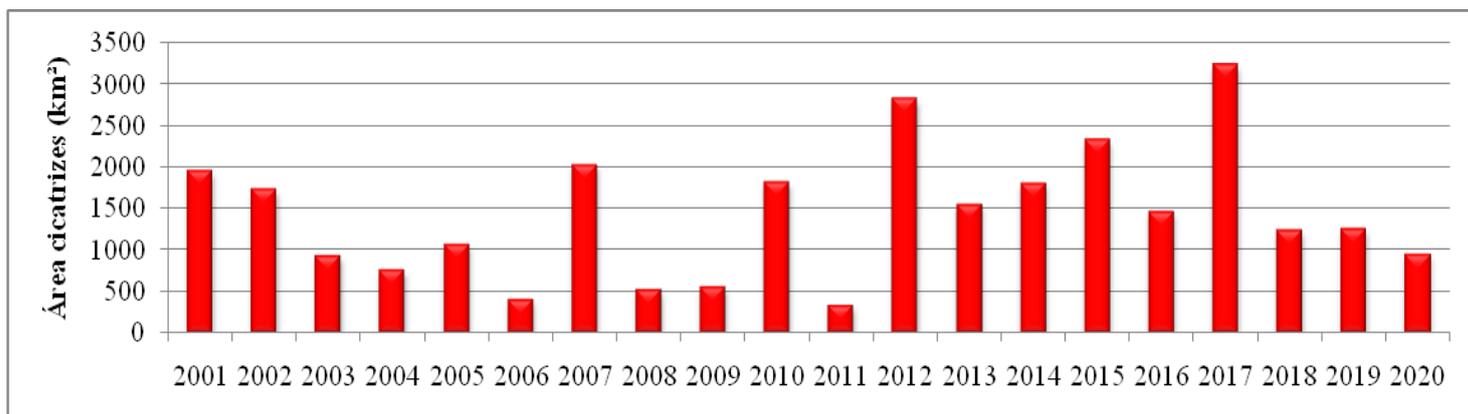
A porcentagem da área queimada no ano de 2002 foi de 14,5%, teve uma queda inferior a 2% comparado ao ano anterior. Nos dois anos seguintes em 2003 e 2004 houve uma redução das áreas atingidas pelo fogo, com 7,7% e 6,5% respectivamente. Além disso, as cicatrizes expandiram-se para outras áreas do território, em classes de formação florestal e pastagem. Em relação ao ano anterior, o ano de 2005 apresentou um leve aumento com 8,8% de áreas queimadas, mantendo os mesmos atributos dos anos anteriores, a vegetação florestal permaneceu como a menos atingida pelo fogo e as formações savânicas e campestres alternam entre si com as maiores áreas queimadas.

Figura 10 - Mapas da distribuição anual das cicatrizes de área queimada das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2010



Fonte: autora (2022)

Gráfico 1 - Variação das cicatrizes de queimadas das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020



Fonte: MapBiomias (2020)

Tabela 3 - Área queimada em cada classe de uso e cobertura das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020

Classes	Formação Florestal		Formação Savânica		Formação Campestre		Pastagem		Outros	
	Área (km²)		Área (km²)		Área (km²)		Área (km²)		Área (km²)	
Anos	Uso e Cobertura	Cicatrizes	Uso e Cobertura	Cicatrizes	Uso e Cobertura	Cicatrizes	Uso e Cobertura	Cicatrizes	Uso e Cobertura	Cicatrizes
2001	4857,23	58,63	3792,46	929,29	3068,62	948,14	324,98	12,88	79,63	4,23
2002	4829,21	43,88	3802,29	754,66	3069,01	919,12	350,68	17,14	71,73	3,94
2003	4808,60	117,52	3804,87	475,82	3069,27	304,27	6,84	29,28	74,22	5,24
2004	4765,53	32,26	3808,74	449,99	3069,74	260,22	397,76	11,20	81,16	2,68
2005	4745,27	41,06	3807,57	558,18	3069,35	453,39	414,70	9,51	86,03	3,47
2006	4701,57	18,74	3823,41	223,65	3068,38	162,47	426,76	3,75	102,80	1,76
2007	4668,47	407,61	3836,63	1124,07	3067,53	463,89	436,71	27,38	113,58	10,26
2008	4636,97	43,96	3840,24	239,93	3066,50	209,14	461,01	25,82	118,20	5,56
2009	4621,55	19,23	3829,77	267,04	3066,55	253,28	472,03	17,35	133,02	6,62
2010	4631,76	283,35	3635,67	911,88	3074,85	554,27	581,56	46,25	199,08	25,24
2011	4631,84	1,35	3812,99	128,26	3071,51	203,62	479,66	0,61	126,93	0,99
2012	4631,84	650,07	3812,99	1352,43	3071,51	768,35	479,66	40,70	126,93	16,68
2013	4639,76	112,52	3773,83	551,99	3075,06	874,66	533,83	11,00	100,45	4,55
2014	4639,29	371,83	3757,31	779,37	3074,62	646,38	555,17	10,78	96,53	5,32
2015	4639,29	418,65	3757,31	850,54	3074,62	1025,24	555,17	34,10	96,53	8,25
2016	4639,29	660,29	3757,31	536,36	3074,62	255,63	555,17	15,93	96,53	4,57
2017	4631,76	1306,12	3635,67	937,20	3074,85	864,28	581,56	98,14	199,08	30,08
2018	4669,60	463,64	3661,23	386,24	3073,55	363,70	572,08	21,55	146,47	6,04
2019	4681,77	102,36	3639,36	488,91	3073,35	653,84	573,45	4,13	155,00	13,61
2020	4631,76	54,46	3635,67	405,03	3074,85	476,91	581,56	14,80	199,08	7,97

Fonte: MapBiomias (2020)

Com apenas 3,5% no ano de 2006 as cicatrizes tiveram uma queda significativa com 410,35 km² de área queimada. Entretanto em 2007 esse percentual cresceu consideravelmente e 16,8% das TIs queimaram, a maior parte ocorreu em vegetação nativa, com 29,3% de formação savânica, 15,2% de formação campestre e 8,8% de formação florestal. Esta, contudo teve um avanço das queimadas e como não possui características de adaptação ao fogo, elas tornam-se mais susceptíveis e as consequências de incêndios florestais podem causar uma

perda significativa na biodiversidade. Após essa queima, entre 2007 e 2008 houve a perda de 31,5 km² de formação florestal, enquanto a classe de pastagem cresceu 24,3 km² de área.

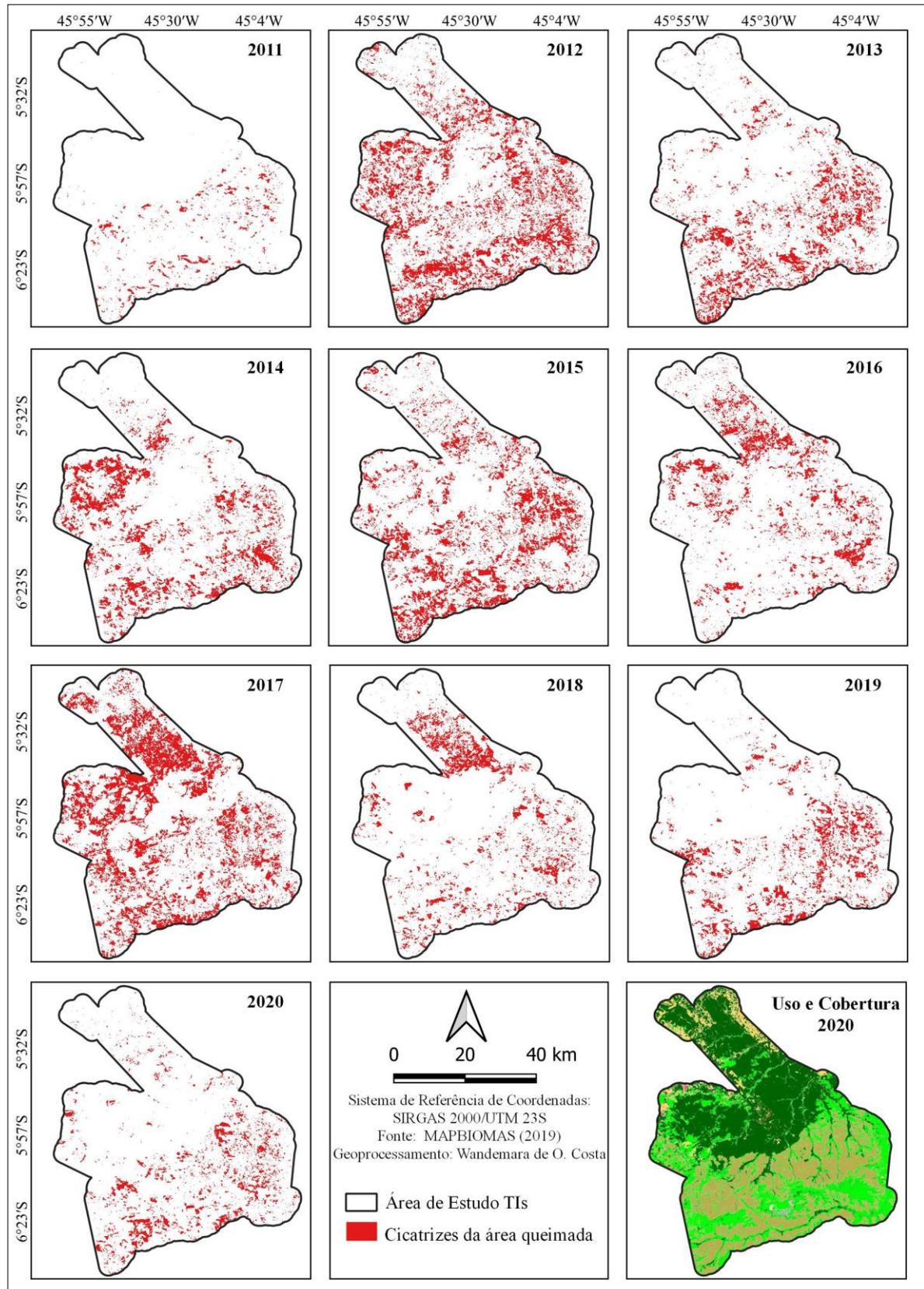
Nos anos de 2008 e 2009 as áreas afetadas pelo fogo diminuíram substancialmente com 4,3% e 4,7% respectivamente. Isso se deve a intensas enchentes e excessos de chuvas registradas no ano de 2009 em decorrência da La Niña que atingiu praticamente todos os estados da região Nordeste (MARENCO et al., 2011). No entanto, no 2010 houve o crescimento das cicatrizes de queimadas com 1820,98 km² da área total, sendo a formação savânica a fitofisionomia que mais queimou, assim como a classe de pastagem.

A área central do território indígena merece atenção, pois ao analisar os mapas nos 20 anos estudados é possível observar uma mancha branca, ou seja, área que não foi queimada onde se concentra a vegetação florestal como um “refúgio indígena”, um lugar que é protegido de queimadas e incêndios florestais. As áreas protegidas são barreiras físicas contra o fogo (BARROS-ROSA et al., 2022). O ano de 2011 teve a menor área queimada entre os anos de 2001 e 2020, apenas 334,83 km² das TIs foram afetadas pelo fogo, concentrando-se nas fisionomias de savana e campestre (Figura 11).

O crescimento das cicatrizes de fogo do ano de 2012 com 2.828,22 km² tem ligação direta com o regime pluviométrico, isto pode ser confirmado com base nos dados de Melo et al. (2021), no ano de 2012 o Início da Estação Seca (IES) foi entre o período de 26/03 a 21/07 totalizando 118 dias, a Estação Seca Média (ESM) ocorreu entre 22/07 a 14/10 em 85 dias e a Estação Seca Tardia (EST) aconteceu entre 15/10 a 03/12 somando 50 dias. Portanto, no decorrer de um ano entre o final de março e início de dezembro, ou seja, em 253 dias a área de estudo passou por um período de estiagem que criou condições propícias para expansão das queimadas.

Nos anos seguintes em 2013 e 2014 houve uma redução do regime de queimadas com 12,8% e 15% da área total, respectivamente. E no ano de 2015 novamente as áreas atingidas pelo fogo voltaram a crescer com 19,3% das TIs, este foi um dos anos com maior número de ocorrência de focos de queimadas no estado do Maranhão com 31.595 focos registrados pelo Programa de Monitoramento de Queimadas do INPE, resultante do período de estiagem (BEZERRA et al., 2018). Entre os anos de 2016 a 2020 as cicatrizes de fogo decresceram e cresceram a cada ano. Os anos com grandes dimensões de área queimada ocorreram entre um intervalo de um ou dois anos, esse comportamento é comum para ambientes de Cerrado e também foi observado em parques nacionais e terras indígenas (ALVARADO et al., 2017; ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017).

Figura 11 - Mapas da distribuição anual das cicatrizes de área queimada das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2011-2020

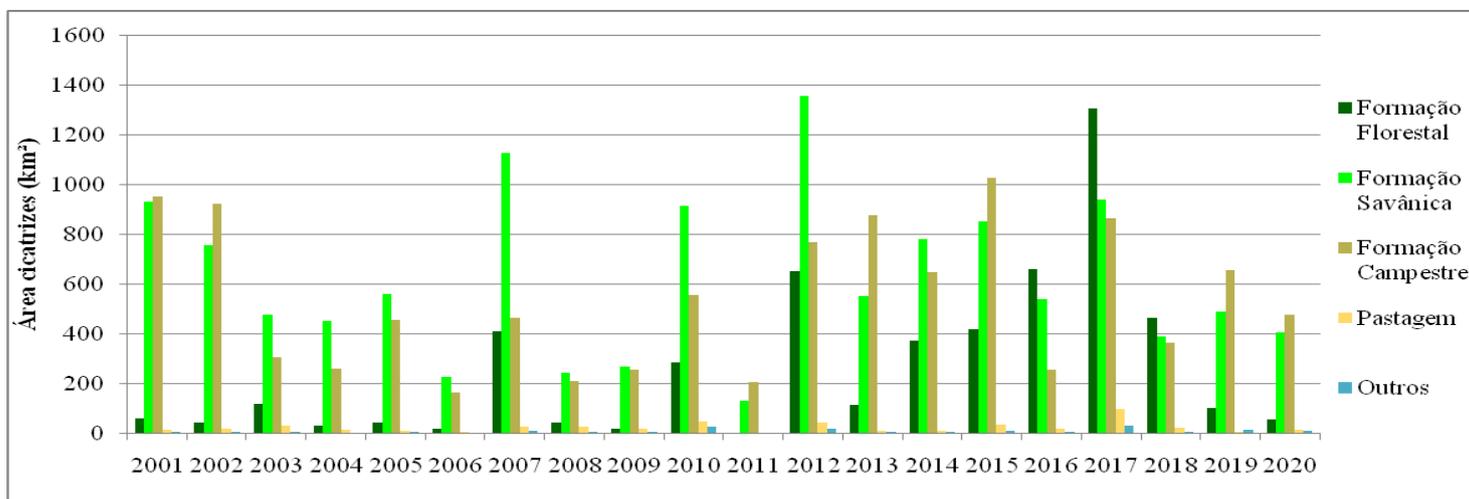


Fonte: autora (2022)

Ao longo de 20 anos, entre 2001 a 2020 a cobertura natural de formação florestal foi a que teve a maior perda com 225,47 km² da área total, enquanto a pastagem foi a classe que obteve o maior ganho de área com 256,58 km² das TIs. É importante ressaltar que o ano de 2017 foi o que mais queimou em 20 anos, dentre as fisionomias a de formação florestal foi a mais afetada pelo fogo com 1.306,12 km² da área total, essa vegetação é a mais sensível aos efeitos do fogo. Em seguida veio a formação campestre com 937,2 km² e a formação savânica com 864,29 km² da área total. As classes de agricultura e pastagem também cresceram, é comum a utilização do fogo em atividades de subsistência (Gráfico 2).

A camada contínua de gramíneas que caracteriza a formação savânica e a pastagem, também presente na formação campestre, favorece a propagação do fogo na estação seca e no período de transição entre as estações seca e chuvosa, com a ocorrência de incêndios naturais (relâmpagos) (RAMOS NETO; PIVELLO, 2000 apud SCHMIDT; ELOY, 2020). Um clima mais seco e alterações no uso da terra, como a perda de vegetação nativa e o crescimento de agricultura e pastagem que ocorreu em 2017, aumentam o risco de incêndios florestais (PIVELLO et al., 2021).

Gráfico 2 - Cicatrizes de área queimada em cada classe de uso e cobertura das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020



Fonte: MapBiomias (2020)

O ano de 2012 teve a maior área queimada da formação savânica com 1.352,43 km² da área total e no ano de 2015 a formação campestre foi a fitofisionomia que mais queimou com 1.025,24 km² das TIs. A única exceção foi no ano de 2017, como já mencionado a vegetação florestal queimou mais do que as outras duas fisionomias. Com base na análise realizada as fitofisionomias do Cerrado constituem a maior parte da área queimada, a formação savânica foi a cobertura natural que mais queimou com aproximadamente 12.350,8 km², seguida da formação campestre com 10.660,8 km² e a formação florestal com 5.207,5 km². Esta possui

barreiras que dificultam a passagem do fogo, porém em alguns anos foi afetada com mais intensidade por queimadas e incêndios florestais. Essa vegetação não evoluiu com o fogo e apresenta alta mortalidade quando atingida por ações antrópicas que tornam os incêndios florestais cada vez mais frequentes (FRANCO et al., 2014 apud SCHMIDT; ELOY, 2020).

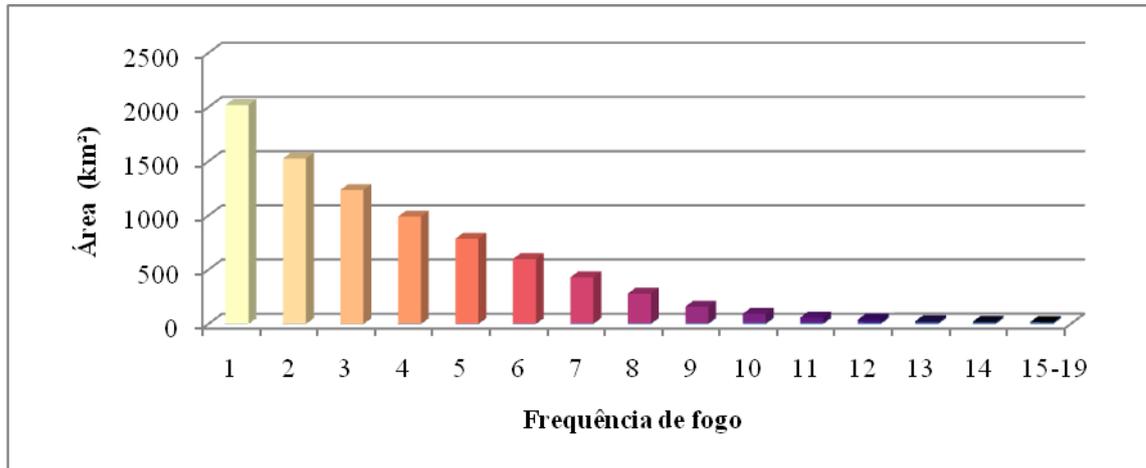
As formações savânicas e campestres permaneceram como as fisionomias que mais queimaram. Isto é justificado por suas características, possuem vegetação aberta que facilita o deslocamento e propagação do fogo, além de adaptações que tornam as queimadas frequentes. Como a evolução de seu ecossistema que foi moldado por inúmeras formas de adaptação para sobreviver a ocorrências de fogo, por exemplo, em plantas, o desenvolvimento de casca grossa e de gemas protegidas (PAUSAS; PARR, 2018 apud PIVELLO et al., 2021).

5.2 Padrões de frequência de fogo baseado nas variáveis geoambientais

No decorrer de duas décadas, entre os anos de 2001 a 2020, a região sul e sudeste do território indígena concentrou-se as áreas com maiores frequências de fogo, foram 8.183 km² de área queimada, ou seja, 67,5% da área total queimaram ao menos uma vez. Cerca de 51% da área foi atingida pelo fogo ao menos duas vezes e aproximadamente 20% do território queimou cinco vezes ou mais. À medida que essa frequência aumenta proporcionalmente as áreas queimadas vão diminuindo, os 616,3 km² que foram afetados 10 vezes ou mais pelo fogo representam apenas 1,6% das TIs. No Gráfico 3 e na Figura 12 a frequência de fogo é representada por um gradiente de cores que varia de clara a escura, quanto mais escuro maior é a recorrência, são parâmetros que foram gerados no decorrer dos 20 anos estudados variando de 1 ao 19, a recorrência de fogo nas áreas mais queimadas ocorre em média a cada dois anos.

Na Figura 12 é possível constatar que a maior frequência de área queimada ocorreu principalmente nas fisionomias savânicas e campestres do Cerrado. Ao comparar os dados dessa recorrência no período de 2001 a 2020 com os dados de uso e cobertura da terra do ano de 2020, a formação campestre teve a maior recorrência de fogo de 87,2% da área total, seguida da formação savânica com 78,1% das TIs. Nas savanas e pastagens os fogos ocorrem em superfície, passam com rapidez, são de modo geral de baixa intensidade e retornam com relativa frequência, entre 3-6 anos (RAMOS NETO; PIVELLO, 2000; PEREIRA JUNIOR et al., 2014 apud PIVELLO, 2021). Porém, as queimadas antrópicas aumentaram a frequência de incêndios em 2-3 vezes (PIVELLO, 2021).

Gráfico 3 - Área da frequência de fogo das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020



Fonte: MapBiomias (2020)

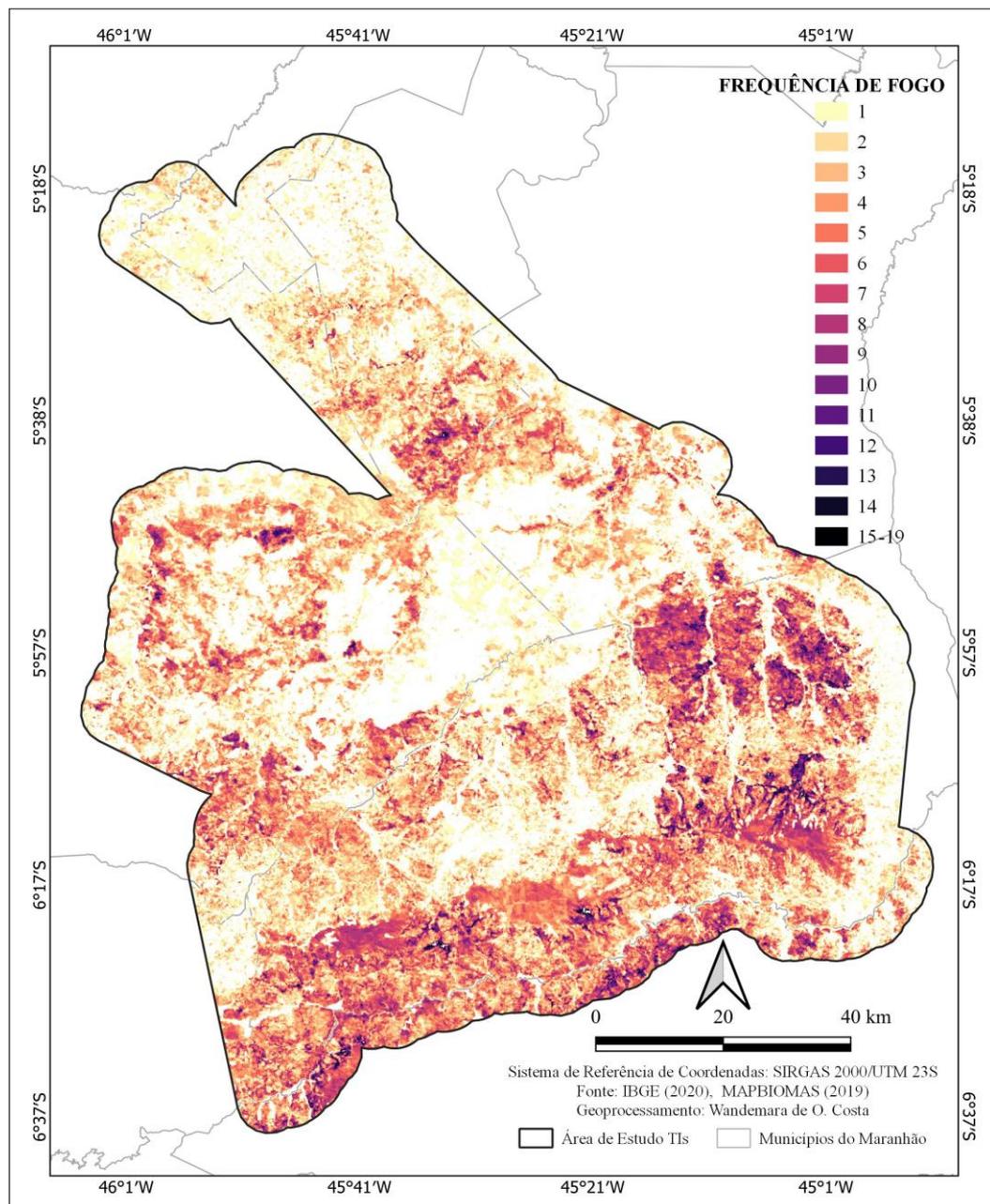
A fisionomia de formação florestal apresentou aproximadamente 48% de frequência de queimada nos vinte anos estudados, sendo considerada uma vegetação sensível aos efeitos do fogo. Em áreas utilizadas para pastagem e práticas agrícolas essa frequência de área queimada é muito alta, pois o fogo é utilizado para renovação de pastagens, queima para cultivo, sendo as principais causas de incêndios florestais (DIAS, 2008). Nogueira et al. (2019), menciona que mesmo em áreas propensas ao fogo, quando este é utilizado de maneira constante e descontrolada como instrumento agrícola, tem contribuído para intensificar as mudanças na cobertura da terra e quebrar os padrões de distribuição espacial de vegetação nativa, mesmo em áreas predispostas ao fogo.

Em uma pesquisa realizada por Barros-Rosa et al. (2022), são citadas importantes variáveis que contribuem para maior probabilidade de incêndios, dentre elas estão: fração de solo lodo, agricultura, elevação, temperatura máxima, temperatura mínima, distância rodoviária, áreas protegidas dentre outros. As chances de incêndio são maiores à medida que estão mais próximas das áreas agrícolas, rodovias e fração de solo lodo. Assim como em áreas com menores altitudes, pois possuem temperaturas elevadas. Além disso, temperaturas mais altas associadas à estação seca também trazem maiores riscos. Enquanto, as áreas protegidas atuam como barreira do fogo, com baixa probabilidade de incêndios (BARROS-ROSA et al., 2022). Como a área central das TIs em estudo que possui baixa recorrência de área queimada.

Esses preditores apresentam maior influência de incêndios de acordo com as estações chuvosa e seca. É durante a estação seca que as ocorrências de incêndios são mais elevadas, atribuídas às variáveis de agricultura, fração lodo e distância das rodovias. No período da estação chuvosa, os preditores mais significativos são temperatura máxima e altitude que

representam fatores naturais. A maioria dos incêndios está fortemente associada às atividades antrópicas que influenciam na dinâmica do fogo (BARROS-ROSA et al., 2022). Nas últimas duas décadas, os incêndios provocados por humanos alcançaram níveis recordes, principalmente para expandir áreas para uso agrícola e por causa da extração de madeira e mineração, atividades que levam à degradação das florestas e aumento do risco de incêndios florestais (PIVELLO, 2021).

Figura 12 - Mapa da frequência de fogo das Terras Indígenas (TIs) em estudo no Maranhão no período de 2001-2020



Fonte: autora (2022)

6 CONCLUSÃO

Por meio do banco de dados do MapBiomas Fogo foi possível realizar o mapeamento das cicatrizes de áreas queimadas, assim como da frequência de fogo das TIs em estudo do estado do Maranhão. No decorrer de duas décadas, entre 2001 e 2020, houve uma variação espacial e temporal das cicatrizes de fogo, a expansão das áreas queimadas ocorre em média entre um a dois anos, concentrando-se principalmente nas porções sul e sudeste do território indígena onde se concentram as fitofisionomias de formação savânica e campestre, porém os anos em que as queimadas foram mais intensas como entre 2012 e 2017 a propagação do fogo se descentralizou. As mudanças no uso e cobertura da terra ocorreram, principalmente, com a perda da vegetação nativa de formação florestal e a expansão da pastagem de uso antrópico.

Ao realizar o cruzamento das cicatrizes de áreas queimadas com o uso e cobertura das terras para cada ano, foi possível observar a dinâmica do fogo nas diferentes classes. A maior parte da área de estudo é compreendida por vegetação nativa, formações savânicas, campestres e florestais do bioma Cerrado, onde o comportamento e efeito do fogo ocorrem de maneira diferente. A formação savânica foi a cobertura natural que mais queimou com 12.350 km², seguida da formação campestre com 10.660,8 km², são fisionomias menos susceptíveis aos efeitos do fogo decorrentes de suas adaptações, porém quando os incêndios são mais intensos e frequentes podem impactar negativamente. As formações florestais tiveram 5.207,5 km² de sua vegetação queimada, são fisionomias densas e úmidas que são mais difíceis de serem afetadas pelo fogo, como não possuem adaptações tornam-se mais susceptíveis e quando são atingidas a biodiversidade é muito afetada.

As maiores frequências de fogo ocorreram justamente nas fisionomias de formação campestre que teve a maior recorrência de fogo com 87,2% da área total e formação savânica com 78,1% das TIs, enquanto as áreas cobertas por formação florestal apresentaram as menores frequências de áreas queimadas. Entretanto, as ações antrópicas têm aumentado essa frequência em 2 ou 3 vezes. Portanto, com os dados disponibilizados pelo MapBiomas e sua manipulação no geoprocessamento foi possível identificar a distribuição espacial e temporal das áreas queimadas, assim como a frequência de fogo no território indígena relacionada a cada fisionomia do bioma Cerrado. Podendo contribuir para o melhor entendimento das dinâmicas de fogo e a necessidade da conscientização do homem que representa o principal responsável pela intensificação dos incêndios florestais que cada vez mais atingem as TIs.

REFERÊNCIAS

- ABI-EÇAB, Pedro Colaneri. Principais ameaças ao meio ambiente em terras indígenas. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, Macapá, n. 3, p. 01-17, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/planeta/article/viewFile/551/EcabN3.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- AGROICONE (Brasil). CARNEIRO FILHO, Arnaldo; COSTA, Karine Machado; ROMEIRO, Mariane; OLIVEIRA, Marcelo; ALVES, Ítalo. (org.). **Cerrado: caminhos para ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável – expansão soja**. Relatório. Disponível em: <https://www.agroicone.com.br/portfolio/cerrado-expansao-da-area-de-soja/>. Acesso em: 16 fev. 2022.
- ALVARADO, Swanni T.; FORNAZARI, Tamires; CÓSTOLA, Andresa; MORELLATO, Leonor Patricia Cerdeira; SILVA, Thiago Sanna Freire. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian Cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators*, v. 78, jul., p. 270-281, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X17301000>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- ALVES, Daniel Borini; PÉREZ-CABELLO, Fernando. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). *Science of the Total Environment*, v. 601– 602, dez., p. 142-158, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717312986>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- ARAÚJO, Mayara Lucyanne Santos de; SANO, Edson Eyji; BOLFE, Édson Luis; SANTOS, Jessflan Rafael Nascimento; SANTOS, Juliana Sales dos; SILVA, Fabrício Brito. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, v. 80, jan., p. 57–67, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026483771830588X>. Acesso em: 04 ago. 2021.
- BARROS-ROSA, Lucas; ARRUDA, Paulo Henrique Zanella de; MACHADO, Nadja Gomes; PIRES-OLIVEIRA, João Carlos; EISENLOHR, Pedro V. Fire probability mapping and prediction from environmental data: What a comprehensive savanna-forest transition can tell us. *Forest Ecology and Management*, v. 520, set., p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112722003486>. Acesso em: 21 jul. 2022.
- BATISTA, Antônio Carlos. Detecção de incêndios florestais por satélites. *Revista FLORESTA*, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 237-241, maio/ago. 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2402/2010>. Acesso em: 22 maio 2021.
- BATISTA, Antônio Carlos. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Revista FLORESTA*, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 45-54. 2000. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2328/1946>. Acesso em: 05 abr. 2022.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Um esboço metodológico. **Revista RAÍÇA**, Curitiba: UFPR, n. 8, p. 141-152, 2004.

BEZERRA, Denilson da Silva; DIAS, Bruna Caroline Correia; RODRIGUES, Leonardo Henrique de Sá; TOMAZ, Raoni Blom; SANTOS, André Luis Silva dos; SILVA JUNIOR, Celso Henrique Leite. Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1998 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 22, jan/jun. 2018.

BRASIL, Ministério da Justiça e Segurança Pública. Centro de Monitoramento Remoto, Fundação Nacional do Índio. **Centro de Monitoramento Remoto**. Brasília, DF: FUNAI, 2021. Disponível em: <http://cmr.funai.gov.br/como-funciona>. Acesso em: 23 maio 2021.

BRASIL, Ministério da Justiça e Segurança Pública. Fundação Nacional do Índio. **Terras Indígenas**. Brasília: FUNAI, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BRASIL, Programa Queimadas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistemas de Monitoramento**. Brasília, DF: INPE, 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BRASIL, Serviço Florestal Brasileiro. Sistema Nacional de Informações Florestais. **Incêndios Florestais**. Brasília, DF: SNIF, 2019. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/incendios-florestais/186-focos-de-calor>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988/ obra coletiva de autoria da Editora Saraiva com a colaboração de Antônio Luiz de Toledo Pinto, Márcia Cristina Vaz dos Santos Windte e Livia Céspedes. 42. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, capítulo IX, artigo 38, p. 1, 25 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 10 jan. 2021.

BRASIL. Lei nº 6.001, de 19 de Dezembro de 1973. **Dispõe sobre o Estatuto do Índio**. seção 1, Brasília, DF, p. 1, 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6001.htm. Acesso em: 25 jan. 2021.

CONTI, José Bueno; FURLAN, Sueli Angelo. GEOECOLOGIA O CLIMA, OS SOLOS E A BIOTA. IN: ROSS, Jurandyr L. Sanches (org.). **Geografia do Brasil**. 5. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. p. 61-190.

DIAS FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens**: o que é e como evitar. Brasília: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2022.

DIAS, Genebaldo Freire. **Queimadas e incêndios florestais**: cenários e desafios: subsídios para a educação ambiental. Brasília: MMA, Ibama, 2008. Disponível em: <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/imagens/abook/pdf/1sem2015/marco/Mar.15.03.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). **Projeto Conservação e Manejo da Biodiversidade do Bioma Cerrado (CMBBC)**. EMBRAPA, [s.d]. Disponível em: <http://cmbbc.cpac.embrapa.br/Relatoriofinal.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

EUCLIDES FILHO, Kepler; CORRÊA, Eduardo Simões; EUCLIDES, Valéria Pacheco Batista. Boas Práticas na produção de bovinos de corte. **Documentos 129**. Campo Grande: Embrapa gado de corte, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/325565/1/DOC129.pdf>. Acesso em: 11 abri. 2022.

FALLEIRO, Rodrigo de Moraes; SANTANA, Marcelo Trindade; BERNI, Cendi Ribas. As contribuições do manejo integrado do fogo para o controle dos incêndios florestais nas terras indígenas do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 88-105, 2016.

FERRARI, Renata. **Modelagem Dinâmica do uso e cobertura da terra da quarta colônia, RS**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geomática. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **The George Wright Forum**, v. 22, n.4, p. 78-87, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Banco de dados georreferenciados da Amazônia Legal - Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE (2009, 2020). 1 mapa, 1 tabela.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao milionésimo (BCIM)**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Introdução ao Processamento Digital de Imagem**. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Rio de Janeiro: IBGE (2012, 2020). 1 mapa, 1 tabela.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Rio de Janeiro: IBGE (2014, 2020). 1 mapa.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil); EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Rio de Janeiro: IBGE (2004, 2020); EMBRAPA (2004). 1 mapa

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Mapa Geológico do Estado do Maranhão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos

Ambientais. IBGE, 2011. Disponível em: mascara.dgn (ibge.gov.br). Acesso em: 01 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (Brasil). MIRANDA, Heloisa Sinátora (org.). **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado**: Projeto Fogo. Brasília: IBAMA, 2010.

Disponível em:

<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedofogodigital.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (Brasil). **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. INPE, [s.d]. Disponível em:

<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 25 maio 2020.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LACERDA, Fabíola. **Prevenção e monitoramento de incêndios florestais em terras indígenas**: programa de capacitação em proteção territorial. Brasília: FUNAI/GIZ, 2013.

Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/arquivos/conteudo/cgmt/pdf/prevencao-e-monitoramento-de-incendios-florestais-em-tis.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2020.

LEONEL, MAURO. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura.

SciELO. Estudos Avançados, v. 14, n. 40, p. 231-250, dez. 2000.

LIMA, Jaier C. **Dados climáticos para terras indígenas no Maranhão**. Relatório projeto Prevfogo. 2019. p. 1-17. 1 figura.

LUCIANO. Gersem dos Santos. **O índio brasileiro**: o que você precisa saber sobre os povos indígenas no Brasil de hoje. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade; LACED/Museu Nacional, 2006. Disponível em: [indio_brasileiro.pdf](#) (diaadia.pr.gov.br). Acesso em: 26 jan. 2021.

MAPBIOMAS (Brasil v.6.0), 2019, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 16 mar. 2022. 5 mapas, 1 tabela, 3 gráficos, 1 equação.

MARENGO, José A.; ALVES, Lincoln M.; BESERRA, Elder A.; LACERDA, Francinete F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, 2011.

MELO, Pedro Henrique Soares. **Regime de fogo nas terras indígenas do cerrado maranhense**. 2021. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

MELO, Pedro; SPARACINO, Javier; ARGIBAY, Daihana; SOUSA JÚNIOR, Vicente; BARROS, Roseli; ESPINDOLA, Giovana. Assessing Wildfire Regimes in Indigenous Lands of the Brazilian Savannah-Like Cerrado. **Fire**, MDPI, v. 4, n. 34, p. 1-19, 2021.

MENESES, Paulo Roberto. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. (orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF. CNPq, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Projeto Cerrado-Jalapão**. Programa Piloto de Manejo Integrado do Fogo é implementado em três Unidades de Conservação do Cerrado. Brasília, DF: MMA, 2014. Disponível em: <http://cerradojalapao.mma.gov.br/noticias/programa-piloto-de-manejo-integrado-do-fogo-e-implementado-em-tres-unidades-de-conservacao-do-cerrado>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MORAES, Elisabete Caria de. **Capítulo 1 Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Divisão de Sensoriamento Remoto. INPE, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf. Acesso em: 17 maio 2021.

MOTA, Lydia Helena da Silva de Oliveira; VALLADARES, Gustavo Souza; LEITE, Hugo Mota Ferreira; GOMES, Andréa da Silva; MAGALHÃES, Regina Maria Fontenele; SILVA, Tibério Almeida da. Análise multitemporal do uso e cobertura das terras da região do Baixo Acaraú-CE. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 32, n. 2, p. 379-396, 2013.

NASCIMENTO, Itaborai Velasco. Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Revista Territorium**. Coimbra, v. 1, n. 8, p. 25-35, 2001.

NOGUEIRA, Joana; MARTINS, Guilherme; SETZER, Alberto; MORELLI, Fabiano. A comparison of land cover maps to define vegetation classes of fire risk in Brazil. **Bio Brasil**, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/BioBR/article/view/1174>. Acesso em: 25 jul. 2022.

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

O'DWYER, E.C. Nas Fronteiras do Estado-Nação: conflitos socioambientais e incêndios florestais nas terras indígenas dos Awá-Guajá no Maranhão. **Repocs**, v. 13, n. 26, 2016.

PEREIRA, Caroline Nascimento; PORCIONATO, Gabriela Lanza; CASTRO, Cesar Nunes de. Aspectos socioeconômicos da região do matopiba. **Boletim regional urbano e ambiental**, Brasília, DF: Ipea, n. 18, p. 47-59, jan./jun. 2018. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8462/1/BRU_n18_Aspectos.pdf. Acesso em: 03 ago. 2021.

PIVELLO, Vânia R.; VIEIRA, Ima; CHRISTIANINI, Alexander V.; RIBEIRO, Danilo Bandini; MENEZES, Luciana da Silva; BERLINCK, Christian Niel; MELO, Felipe P.L.; MARENGO, José Antonio; TORNQUIST, Carlos Gustavo; TOMAS, Walfrido Moraes; OVERBECK, Gerhard E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, Ed. 3, jul./set., p. 233-255, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064421000560>. Acesso em: 21 jul. 2022.

Ribeiro, J. F; Walter, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora** v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p. 1 Figura

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-

CPAC, p. 89-166, 1998. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/554094>. Acesso em: 21 maio 2022.

RODRIGUES, Tarcísio Ewerthon; SILVA, Roberto das Chagas; SILVA, João Marcos Lima da; OLIVEIRA JÚNIOR, Raimundo Cosme de; GAMA, José Raimundo Natividade Ferreira; VALENTE, Moacir Azevedo. **Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: EMBRAPA, 2003. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408067/caracterizacao-e-classificacao-dos-solos-do-municipio-de-paragominas-estado-do-para>. Acesso em: 26 jun. 2021.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antônio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). 5. ed., Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SCHMIDT, Isabel Belloni; ELOY, Ludivine. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367253020300773>. Acesso em: 21 jul. 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (Brasil). **Geodiversidade do estado do Maranhão: Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade**. BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento (org.). Teresina: CPRM, 2013. Disponível em:
<https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/geodiversidade-do-estado-do-maranhao.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (Brasil). **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Fernando Falcão**. CORREIA FILHO, Francisco Lages; GOMES, Érico Rodrigues; NUNES, Ossian Otávio; LOPES FILHO, José Barbosa. Teresina: CPRM, 2011.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Geografia física e geomorfologia: uma releitura**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; ROQUE, Mariane Paulina Batalha; LIMA, Gumercindo Souza; MARTINS, Sebastião Venâncio; FARIA, André Luiz Lopes de. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 1-10, 2017.

VETTORAZZI, Carlos A.; FERRAZ, Silvio F. de B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **SÉRIE TÉCNICA IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, dez. 1998. Disponível em:
<https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr32/cap11.pdf>. Acesso em: 22 maio 2021.

VICALVI, Marco Aurélio; CARVALHO, Ismar de Souza. Carófitas Cretácicas da Bacia do Parnaíba (Formação Itapecuru), Estado do Maranhão, Brasil. In: Boletim do Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6., Simposio sobre el Cretácico de América Del Sur, 2., 2002, São Pedro,

SP. **Anais eletrônicos** [...]. São Pedro, SP: UNESP, 2002. Disponível em: https://igeo.ufrj.br/inc/isc/5/5_22.pdf. Acesso em: 10 jul. 2021.

VILELA, Thaís; GASPARINETTI, Pedro. Mercado de Cotas de Reserva Ambiental no Maranhão: Implicações econômicas e ambientais de restringirmos o mercado à identidade ecológica. **Conservation Strategy Fund** (CSF-Brasil). Série Técnica. 52 ed. Rio de Janeiro, 2018.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (Brasil). **Cerrado: berço das águas**. Brasília, DF: WWF-BR, 2012. Disponível em: http://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_factsheet_cerrado_pt_web.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.