



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PORTO NACIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

VICTOR ALVES DA SILVA

**ANÁLISE DA GESTÃO DO FOGO A PARTIR DA IMPLEMENTAÇÃO DO
MANEJO INTEGRADO DO FOGO (MIF) NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA
GERAL DO TOCANTINS, BA/TO**

Porto Nacional, TO

2023

Victor Alves da Silva

**Análise da gestão do fogo a partir da implementação do Manejo Integrado do Fogo
(MIF) na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, BA/TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Tocantins, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo
Linha de pesquisa: Análise e Gestão Geoambiental

Porto Nacional, TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A474a Alves da Silva, Victor.

Análise da gestão do fogo a partir da implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, BA/TO. / Victor Alves da Silva. – Porto Nacional, TO, 2023.

87 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Geografia, 2023.

Orientador: Sandro Sidnei Vargas de Cristo

1. Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. 2. Manejo Integrado do Fogo (MIF). 3. Sensoramento Remoto. 4. Unidade de Conservação Federal. I. Título

CDD 910

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Victor Alves da Silva

**Análise da gestão do fogo a partir da implementação do Manejo Integrado do Fogo
(MIF) na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, BA/TO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Geografia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 25 de setembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG)
(Orientador)

Prof. Dr. Mariléia Oliveira Bispo – UFT
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG)
(Examinadora interna)

Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite - UFMS
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)
(Examinador externo)

“Se dizia daquela terra que era sonâmbula. Porque enquanto os homens dormiam, a terra se movia espaços e tempos afora. Quando despertavam, os habitantes olhavam o novo rosto da paisagem e sabiam que, naquela noite, eles tinham sido visitados pela fantasia do sonho.”

(Mia Couto, 2015)

AGRADECIMENTOS

A produção de ciência no Brasil é uma caminhada complexa, árdua e desafiadora. Ser acadêmico de uma pós-graduação *Stricto Sensu* sempre foi uma ambição pessoal desde a minha educação de base. Por muitas vezes, vi minha trajetória tomar diferentes rumos, que foram guiados tanto por outras metas profissionais, quanto pela necessidade de estar mais próximo da família por questões de saúde ou até mesmo por momentos de pausas para tentar me reencontrar. Para tanto, agradeço mormente à Deus, por me conduzir sempre protegido nas mais diversas nuances da vida e por planejar da maneira mais linda tudo que tenho tido a oportunidade de viver.

Aos meus pais, que mesmo diante de todos os percalços nunca deixaram de incentivar e de prover meios para que eu pudesse ter acesso a uma educação de qualidade. Minha mãe, Jaqueline Alves Carneiro Silva, que tanto dedicou sua vida ao magistério, minha primeira e maior educadora, onde me acompanhou desde a minha base escolar, cuja aposentadoria veio de maneira repentina por questões de saúde, mas que a todo tempo me mostra a essência e a alegria de viver e de educar. Meu pai, José de Jesus Rodrigues da Silva, mestre da carpintaria, cujo ofício e humildade me faz crescer como filho e carregar durante meu trajeto as mais belas qualidades que um ser humano pode ter.

Agradeço, especialmente, a todos os meus familiares e amigos que se propuseram a viver esse sonho comigo. Sendo que aqui, me reservo ao direito de não os nominar para não cometer quaisquer injustiças, todavia, cada um tem a sua importância e o seu significado particular e que ao lerem este texto, se sentirão tocados e saberão que fizeram parte de mais essa etapa do meu crescimento. Foi emocionante cada sofrimento, cada momento de ansiedade e de adrenalina que se submeteram a partilhar comigo ao longo desse percurso tão inconstante da minha construção profissional. Ao meu companheiro, Thalison Moraes, pelo encorajamento, estímulo, empatia e paciência em entender o meu tempo. Ao meu colega e amigo que o PPGG me proporcionou, Dionel Barbosa, com quem tanto dividi trabalhos e vivências acadêmicas durante esse período, e que me incentivou a todo momento para que chegássemos até aqui.

À equipe do ICMBio – Coordenação Regional nº 5 com sede em Rio da Conceição – TO pelo apoio e suporte à realização do trabalho de campo. Agradeço, também, ao meu orientador, Sandro Sidnei Vargas de Cristo, por acreditar nos meus esforços, no potencial da minha pesquisa, e pelas palavras de incentivo e apoio nos momentos de dificuldades. Por fim, a minha gratidão a todas, todos e todes os servidores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFT – Campus Porto Nacional.

RESUMO

São diversos os impactos ambientais, os prejuízos sociais e econômicos ocasionados por incêndios florestais. Por muitos anos, a discussão sobre o combate ao fogo foi pautada na supressão total do mesmo, entretanto, medidas voltadas à utilização do fogo como meio de gestão e conservação da paisagem vem ganhando espaço. A presente pesquisa tem por objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal e a ação do fogo na Unidade de Conservação Federal, Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), a partir do Manejo Integrado do Fogo (MIF) com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto tendo como referência os anos de 2010, 2014, 2018 e 2022. As análises espaciais realizadas contemplam o levantamento histórico do uso do MIF na EESGT, os mapeamentos de focos de calor, de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), de cicatrizes de fogo e de recorrência de queimadas. Nos resultados e análises foram discutidos pontos que demonstram que para o período estabelecido, o mapeamento de focos de calor mostra que o ano de 2014 apresenta o menor número de focos de muito baixa e de baixa densidades; o ano de 2010 tem o menor valor de área incidente de focos de média densidade; e o ano de 2022 apresenta os menores valores para os focos de alta e muito alta densidades. O mapeamento de NDVI e cicatrizes de fogo apresentam para cada ano a evolução e comportamento dos alvos, vegetação e áreas queimadas, sendo que as áreas com queimadas foram classificadas da seguinte maneira: fogo tardio, fogo precoce e vegetação. Por fim, o mapa de Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ) expõe as áreas que foram queimadas mais de uma vez, conforme padrão de anos: 1 ano, 2 anos, 3 anos ou 4 anos, para o interstício de análise. Não obstante, o trabalho procura confrontar e fazer um paralelo dos resultados obtidos das análises geográficas com o Manejo Integrado do Fogo que vem sendo desenvolvido na EESGT desde o ano de 2014.

Palavras-chave: Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Manejo Integrado do Fogo (MIF). Sensoriamento Remoto. Unidade de Conservação Federal.

ABSTRACT

There are many environmental impacts and social and economic losses caused by forest fires. For many years, the discussion on combating fire was based on its total suppression, but measures aimed at using fire as a means of managing and conserving the landscape have been gaining ground. This research aims to analyze the space-time dynamics and action of fire in the Federal Conservation Unit, Serra Geral do Tocantins Ecological Station (EESGT), based on Integrated Fire Management (IFM) using remote sensing techniques with reference to the years 2010, 2014, 2018 and 2022. The space analyses carried out include a historical survey of the use of MIF in the EESGT, mapping of hotspots, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), fire scars and the recurrence of fires. In the results and analysis, points were discussed which show that for the established period, the mapping of hotspots shows that the year 2014 has the lowest number of very low and low-density spots; the year 2010 has the lowest incident area value for medium density spots; and the year 2022 has the lowest values for high and very high-density spots. The NDVI mapping and fire scars show the evolution and behavior of targets, vegetation and burnt areas for each year, and the areas with fires were classified as follows: late fire, early fire and vegetation. Finally, the Burn Recurrence Index (IRQ) map shows the areas that were burned more than once, according to the pattern of years: 1 year, 2 years, 3 years or 4 years, for the analysis period. Nevertheless, the work seeks to compare and parallel the results obtained from the geographical analysis with the Integrated Fire Management that has been developed at EESGT since 2014.

Keywords: Serra Geral do Tocantins Ecological Station. Integrated Fire Management (IFM). Remote Sensing. Federal Conservation Unit.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa de Localização da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins | 18 |
| Figura 2 – Organograma do programa de monitoramento do MIF na EESGT..... | 20 |
| Figura 3 – Triângulo do Manejo do Fogo (a) e Triângulo do Manejo Integrado do Fogo (b) . | 27 |
| Figura 4 – Síntese da pesquisa..... | 39 |
| Figura 5 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2010 | 47 |
| Figura 6 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2014 | 48 |
| Figura 7 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2018..... | 49 |
| Figura 8 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2022 | 50 |
| Figura 9 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2010..... | 53 |
| Figura 10 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2014..... | 54 |
| Figura 11 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2018..... | 55 |
| Figura 12 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2022..... | 56 |
| Figura 13 – Mapa de NDVI da EESGT – Ano 2010..... | 58 |
| Figura 14 – Mapa de NDVI da EESGT – Ano 2014..... | 59 |
| Figura 15 – Mapa de NDVI da EESGT – Ano 2018..... | 60 |
| Figura 16 – Mapa de NDVI da EESGT – Ano 2022..... | 61 |
| Figura 17 – Mapa de cicatrizes de fogo da EESGT – Ano 2010..... | 64 |
| Figura 18 – Mapa de cicatrizes de fogo da EESGT – Ano 2014..... | 65 |
| Figura 19 – Mapa de cicatrizes de fogo da EESGT – Ano 2018..... | 66 |
| Figura 20 – Mapa de cicatrizes de fogo da EESGT – Ano 2022..... | 67 |
| Figura 21 – Mapa de Índice de Recorrência de Queimadas da EESGT – Ano 2010 a 2022 ... | 69 |
| Figura 22 – Área de MIF – Ano 2021 | 71 |
| Figura 23 – Área de MIF – junho de 2022 | 71 |
| Figura 24 – Área de vereda MIF – junho de 2022..... | 72 |
| Figura 25 – Área de MIF na borda da Serra da Muriçoca – junho de 2022..... | 72 |
| Figura 26 – Área de MIF Campo Limpo de Vereda incendiada – maio de 2022 | 73 |
| Figura 27 – Área de vereda na cabeceira do córrego do Puçá – MIF em 2019..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 28 – Área de estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada – Incêndio severo em 09 de agosto de 2022 | 74 |
| Figura 29 – Área de estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada que passou por incêndio severo | 74 |
| Figura 30 – Área de Cerrado do tipo <i>Stricto Sensu</i> que passou por incêndio em agosto de 2022 | 75 |
| Figura 31 – Área mifada no começo de junho de 2022..... | 75 |
| Figura 32 – Área mifada no começo de junho de 2022 em seu estágio final..... | 76 |
| Figura 33 – Área mifada no ano de 2021 | 76 |
| Figura 34 – Área mifada em junho de 2022 em seu segundo estágio | 77 |
| Figura 35 – Área mifada em junho de 2022 – área de transição | 77 |
| Figura 36 – MIF realizado há três anos (2019) | 78 |
| Figura 37 – Cabeceira da Lagoa Espraiada (área úmida) – MIF em 2020..... | 78 |
| Figura 38 – Área de cicatriz de fogo em direção ao Morro do Bigorna..... | 79 |
| Figura 39 – Morro do Fumo | 79 |
| Figura 40 – Encerramento do trabalho de campo com um dos responsáveis pela CR-5 do ICMBio..... | 80 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Número de dias com precipitação | 41 |
| Gráfico 2 – Precipitação total mensal..... | 42 |
| Gráfico 3 – Temperatura média mensal em grau <i>celcius</i> | 43 |
| Gráfico 4 – Focos de calor anual por município integrante da EESGT, 2010 a 2022 | 44 |
| Gráfico 5 – Série temporal mensal dos pontos de focos de calor, 01/01/2010 a 04/08/2022... | 46 |
| Gráfico 6 – Série temporal anual dos mapas de densidades de <i>kernel</i> por área em km ² | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Descrição dos dados das imagens de satélites obtidas no catálogo da USGS | 34 |
| Tabela 2 – Localização das estações meteorológicas utilizadas..... | 40 |
| Tabela 3 – Número de dias com precipitação em milímetros | 41 |
| Tabela 4 – Precipitação total mensal em milímetros..... | 42 |
| Tabela 5 – Temperatura média mensal em grau <i>celsius</i> | 43 |
| Tabela 6 – Focos de calor anual de cada município integrante da EESGT, 2010 a 2022 | 45 |
| Tabela 7 – Série temporal mensal dos pontos de focos de calor, 01/01/2010 a 04/08/2022 ... | 46 |
| Tabela 8 – Série temporal anual dos mapas de densidade de <i>kernel</i> por área em km ² | 52 |
| Tabela 9 – Áreas dos mapas de cicatrizes de fogo | 62 |
| Tabela 10 – Áreas do mapa de Índice de Recorrência de Queimadas..... | 68 |
| Tabela 11 – Dados de campo..... | 70 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------|---|
| BD-QUEIMADAS | Programa de Queimadas INPE |
| CIMAN | Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional |
| CR-5 | Coordenação Regional 5 |
| DSG | Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EESGT | Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins |
| FOREST-GIS | Portal de Geotecnologias |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| 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 |
| INDE | Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| LABGEOP | Laboratório de Geoprocessamento da UFT - Campus Porto Nacional |
| MIF | Manejo Integrado do Fogo |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| NATURATINS | Instituto Natureza do Tocantins |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) |
| NIR | Banda Espectral do Infravermelho próximo |
| PDI | Processamento Digital de Imagens |
| PL | Projeto de Lei |
| R | Banda Espectral do Vermelho |

| | |
|-----------|---|
| SEPLAN TO | Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SISFOGO | Sistema Nacional de Informações sobre Fogo |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidades de Conservação |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| SRTM | Missão Topográfica Radar Shuttle |
| TOPODATA | Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil |
| UC | Unidade de Conservação da Natureza |
| UFT | Universidade Federal do Tocantins |
| USGS | Science for a Changing World (Serviço Geológico dos Estados Unidos) |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Localização e caracterização da EESGT..... | 16 |
| 1.2 Justificativa | 19 |
| 1.3 Objetivos | 22 |
| 1.3.1 Objetivo geral | 22 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 22 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 23 |
| 2.1 Uso do fogo e impactos ambientais no Cerrado | 23 |
| 2.2 Gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza..... | 24 |
| 2.3 MIF como instrumento de gestão do fogo..... | 25 |
| 2.4 Sensoriamento Remoto aplicado à gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza | 29 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 32 |
| 3.1 Levantamento de Material Bibliográfico | 32 |
| 3.1.1 Caracterização do processo histórico do uso do MIF na EESGT | 32 |
| 3.2 Levantamento de Material Cartográfico | 32 |
| 3.3 Trabalho de Campo | 33 |
| 3.4 Trabalhos de Laboratório | 33 |
| 3.4.1 Obtenção das imagens de satélites e organização do banco de dados | 34 |
| 3.4.2 Mapeamento da dinâmica temporal do fogo com base na implantação do MIF na EESGT | 35 |
| 3.4.3 Elaboração dos produtos cartográficos..... | 37 |
| 3.4.4 Análise da ação do fogo na EESGT após aplicação do MIF | 38 |
| 3.4.5 Verificação da eficácia do uso do Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise, monitoramento e melhoria da gestão do fogo nas Unidades de Conservação Natureza..... | 38 |
| 4 RESULTADOS E ANÁLISES | 40 |
| 4.1 Dinâmica espaço-temporal do fogo na EESGT | 40 |
| 4.1.1 Dados climáticos da área e suas implicações..... | 40 |
| 4.1.2 Mapeamento de focos de calor..... | 44 |
| 4.1.3 Mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.4 Mapeamento de cicatrizes de fogo | 62 |
| 4.1.5 Aplicação do Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ) | 68 |
| 4.1.6 Levantamento fotográfico do trabalho de campo | 70 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| REFERÊNCIAS | 83 |

1 INTRODUÇÃO

São inúmeros os impactos ambientais, prejuízos sociais e econômicos ocasionados por incêndios florestais em diversas partes do mundo. Por muitos anos, políticas de combate ao fogo foram implementadas visando a supressão total do mesmo, ou seja, medidas voltadas para o “fogo zero” nos espaços geográficos dos mais diversos biomas. Entretanto, pesquisas e tomadas de decisões estão voltadas para a utilização do fogo como meio de gestão e conservação da paisagem, evidenciando a importância do MIF como uma prática de manejo do ambiente e, conseqüentemente, o fogo prescrito como elemento estratégico do processo de conservação da savana.

As savanas tropicais estão localizadas na Ásia, Austrália, África e Américas Central e do Sul, correspondendo a cerca de 20% de toda a superfície terrestre (ICMBio, 2020, p.2). São caracterizadas pela heterogeneidade espacial e temporal das suas fisionomias; cobertura arbórea descontínua; vegetação do estrato herbáceo; estações seca e chuvosas bem definidas e ocorrência frequente do fogo. No Brasil, as savanas são denominadas pelo termo Cerrado, sendo o segundo maior bioma brasileiro e a savana mais biodiversa do planeta, apresenta um complexo de fitofisionomias, formando um mosaico em que estão compreendidas as formações campestres, savânicas e florestais (ICMBio, 2020, p.2).

Alguns biomas, como o Cerrado, são dependentes do regime de fogo, em que o fogo é considerado uma força dominante na evolução da biota, e que algumas espécies se adaptam muito ao regime de fogo. A passagem do fogo pode beneficiar os processos ecológicos e as espécies vegetais deste bioma, pois, as queimadas estimulam o rebrotamento, a floração e a germinação de sementes e a ciclagem de nutrientes (BORGES, 2021, p. 169). Entretanto, o fogo de forma irresponsável e o aumento da frequência de incêndios pode resultar em prejuízos para a vegetação, em especial, a arbórea (RATTER *et al.*, 1997).

Considerando que o Brasil possui 334 unidades de conservação federais, das quais 149 são de proteção integral e 185 de uso sustentável (BRAGANÇA, 2019), em algumas regiões do país, em especial as de Bioma Cerrado, um dos aspectos que mais exigem atenção por parte dos gestores é a gestão do fogo nas UCs.

Sendo assim, esta pesquisa é aplicada à Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) que foi criada em um território caracterizado pela ocupação de comunidades tradicionais na região do Jalapão, que utilizavam o fogo de maneira tradicional para manejo da paisagem. É uma área protegida com histórico de grandes incêndios no decorrer das décadas de

2000 e 2010, e há pelo menos dez anos, permeia por discussões sobre abordagens e paradigmas relacionados à gestão do fogo de forma documentada (BARRADAS, 2020, p. 73).

As discussões sobre o Manejo Integrado do Fogo (MIF) na EESGT iniciaram-se em 2012, tendo sido elaborada e iniciada a implementação do primeiro Plano de MIF em 2014, tornando-se pioneira como a primeira UC federal a iniciar esse tipo de trabalho. A EESGT passa, então, a representar uma mudança significativa na abordagem de gestão do fogo nas áreas protegidas do Cerrado brasileiro, do desejo de estabelecer o fogo zero ao manejo adaptativo com uso do fogo, do combate ao incêndio a prevenção, a queima prescrita e controlada e aos termos de compromissos com as comunidades e grupos sociais envolvidos.

Em relação ao fogo, os recursos computacionais da área de geoprocessamento, como o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), viabilizam análises espaciais e temporais que facilitam a prevenção e o combate e controle de incêndios tendo em vista que podem fornecer respostas imediatas que otimizam os resultados de ações e decisões (PEZZOPANE, 2001, p. 162).

Fitz (2008, p.12) discorre que as geotecnologias podem ser traduzidas como as novas tecnologias do campo das geociências e áreas correlatas, que acarretaram em avanços em processos de gestão, desenvolvimento de pesquisas, planejamento, manejo e outros aspectos relacionados a forma e a estrutura do espaço geográfico. Sendo assim, o estudo dos aspectos ambientais e do espaço geográfico, pressupõe uma série de conhecimentos e informações interdisciplinares.

Desta maneira, com a preocupação sobre a ação do fogo no Cerrado é que se desenvolve a presente pesquisa, buscando-se analisar a dinâmica espaço-temporal da ação do fogo na EESGT, tendo como referência o período entre os anos de 2010 e 2022, ou seja, o intervalo que precede as primeiras discussões sobre o MIF, durante e após a sua implantação, utilizando-se de técnicas de Sensoriamento Remoto.

1.1 Localização e Caracterização da EESGT

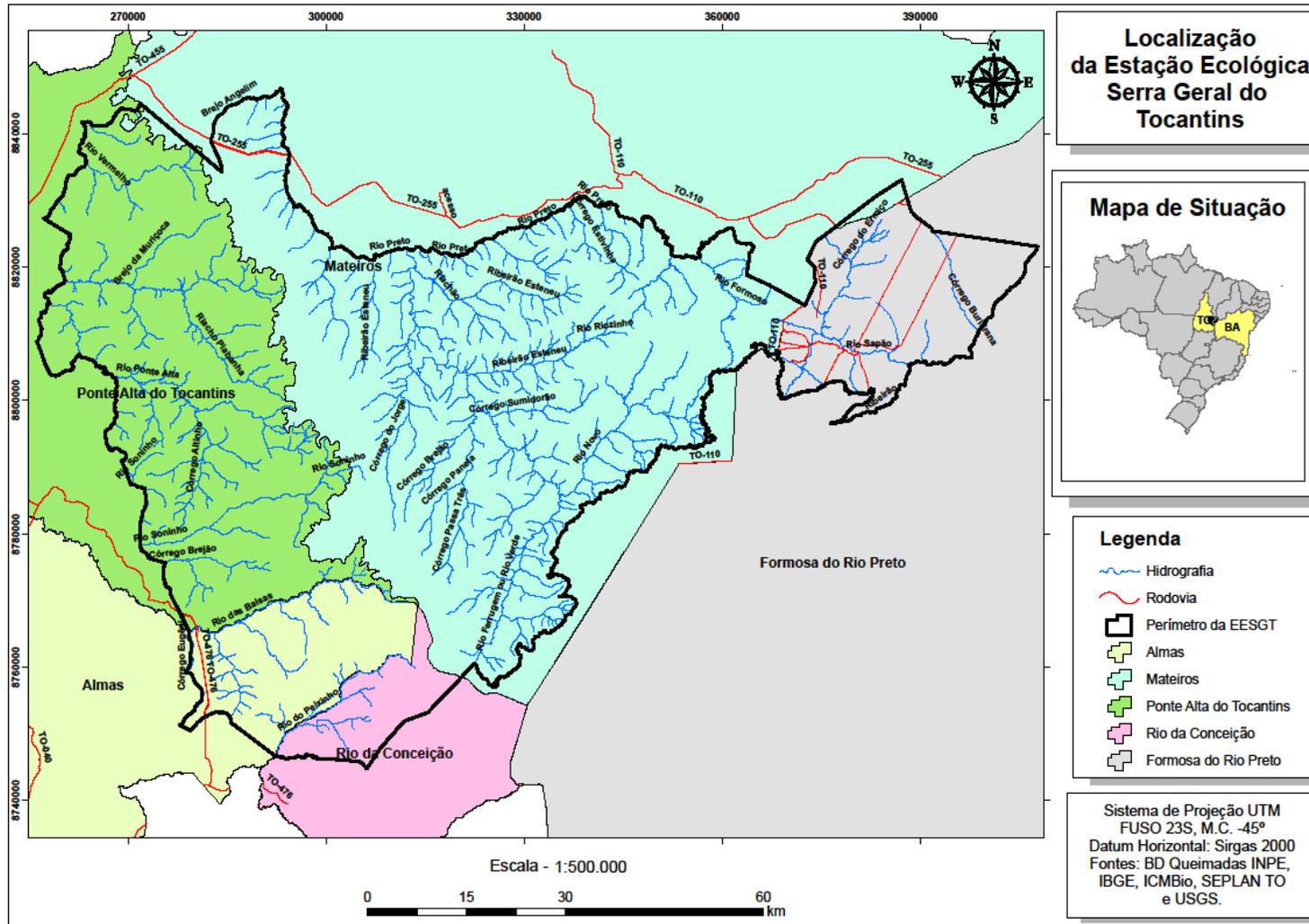
A Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins é uma Unidade de Conservação de proteção integral, integrante do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), cujo marco legal é a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Criada através do Decreto Federal Sem Número, de 27 de setembro de 2001, com os objetivos de proteger e preservar amostras dos ecossistemas de Cerrado, bem como propiciar o desenvolvimento de pesquisas científicas.

De acordo com Cristo (2013, p. 31), a área da EESGT possui cerca de 7.071,44km², dentre os quais, aproximadamente 631.598ha (89,3% da área) ficam no estado do Tocantins e de 75.545ha (10,7% da área) ficam no estado da Bahia. Geograficamente, está localizada entre as coordenadas 10°25'31,08" e 11°21'14,33" de latitude sul e, 47°13'30,94" e 45°50'32,72" de longitude oeste (Figura 1).

A EESGT abrange os municípios de Almas, Mateiros, Ponte Alta do Tocantins e Rio da Conceição no estado do Tocantins, e o município de Formosa do Rio Preto no estado da Bahia e o bioma predominante é o Cerrado de formações campestres e abertas, como cerrado sentido restrito, veredas, e florestais, como as matas de galeria e mata ciliar (ICMBio, 2014, p. 19).

A denominação Serra Geral do Tocantins advém do acidente geográfico baseada na forma de relevo de uma serra de mesmo nome, que está localizada a leste da UC, entre os estados de TO e BA (ICMBio, 2014, p. 147). O órgão responsável pela gestão da Unidade de Conservação é o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade: Coordenação Regional 5 (CR-5) e teve seu Plano de Manejo aprovado por meio da Portaria n° 111, de 15 de outubro de 2014.

Figura 1 – Mapa de Localização da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

1.2 Justificativa

Após a criação das UCs de proteção integral que estão contidas no Mosaico Jalapão em 2000, o fogo na área do Jalapão apresentou maior concentração no final da estação seca, sendo que anualmente há a ocorrência de grandes incêndios que atingem o nível mais alto de alerta, mobilizando uma logística cara e complexa para o seu combate e supressão (ICMBio, 2020, p.3). Considerando a época de ocorrência, o fogo tem capacidade de se estender por semanas até encontrar uma barreira física (área queimada, rio, encosta de serra) ou ser suprimido pelos dificultosos combates (ICMBio, 2020, p.3).

Neste contexto, a EESGT ganha destaque por já ter chegado a aproximadamente 35% da área total queimada anualmente, sendo que logo após a sua criação, tornou-se comum a ocorrência de grandes incêndios, que chegavam a atingir mais de 100 mil hectares por evento danoso (ICMBio, 2020, p.3). Onde, “o fato foi justificado pelo aumento da atividade agropecuária na região; pela noção do uso indiscriminado de área pública e atividades de fiscalização e educação ambiental incipientes” (BARRADAS, 2017, p. 61). Tal situação recorrente, despertou a atenção do ICMBio para o desenvolvimento e implementação de estratégias voltadas à prevenção, ao controle e ao combate de incêndios, por consistir na principal ameaça à biodiversidade desse tipo de área protegida.

Nessa linha de discussão, Cristo (2013, p. 157) aponta que as consequências deixadas pelas queimadas intensas atingem diretamente o contexto socioambiental ocasionando a descaracterização da vegetação natural, perda da biodiversidade da fauna e da flora local, perda da função das veredas e da fertilidade do solo, além da degradação das feições geomorfológicas.

De acordo com o ICMBio (2020, p. 3), o mapeamento de cicatrizes anuais de queima demonstra que determinada área queimada em um ano, tem baixa probabilidade de queima no ano seguinte, porém, apresenta alta probabilidade no período de dois anos após a primeira queimada, tornando essa dinâmica característica de um regime bianual de fogo.

Ainda, com base na citação anterior, está prevista a possibilidade de parcerias visando o monitoramento da área, de modo que o planejamento e a pesquisa sejam conduzidos de forma colaborativa entre pesquisadores, gestores e comunidade tradicional.

No organograma representado na Figura 2, nos subitens R1 (acompanhar a evolução do comportamento de cicatrizes, atual e histórica) e R2 (diagnosticar quantidade e área de ambientes sensíveis, atingidos por fogo/ano, atual e histórica), fica evidenciado que as atividades que buscam essa pesquisa se inserem dentro desse contexto participativo.

Assim, considerando que o próprio Plano de Manejo Integrado do Fogo da ESSGT contempla a possibilidade de realização desta pesquisa, como forma de acrescentar nas contribuições científicas de monitoramento desse processo de gestão do fogo na UC e melhoria das práticas de conservação, a mesma se justifica tanto pela abordagem de Costa (2018, p. 15), de que há a necessidade de se estimar, regularmente e sistematicamente, os locais de ocorrências e a extensão das áreas atingidas pela atuação do fogo, quanto pelo exposto neste tópico através da pesquisa de Cristo (2013) e do Plano do MIF elaborado pelo ICMBio (2020).

Figura 2 – Organograma do programa de monitoramento do MIF na EESGT



Fonte: ICMBio (2020, p. 11).

A importância deste trabalho pode ser observada também, através do conhecimento da distribuição espacial do fogo, como características de propagação, extensão e dimensões, que contribuem para a elaboração de mapas temáticos que permitem localizar as regiões com menores e maiores riscos de grandes incêndios.

Também, pela extração das informações desses tipos de mapeamentos associadas à análise do comportamento dos incêndios, no decorrer das diferentes paisagens, que podem fornecer informações importantes para o planejamento de ações de prevenção e combate.

Ainda pode possibilitar, a minimização dos efeitos negativos provocados pelo fogo por meio da gestão dos elementos do ambiente. Essa gestão deve priorizar técnicas que visem reduzir o perigo do incêndio em nível de mancha, que diminuam a conectividade entre as

coberturas inflamáveis e que ocasionem no aumento da heterogeneidade da paisagem (MAGALHÃES, 2017, p. 467).

A despeito do fato de que causas antrópicas e naturais atuam sinergicamente na manutenção dos diferentes regimes do fogo atual do Cerrado, a interferência do homem volta-se para ampliar a recorrência e a extensão dos incêndios (SOARES, 2016, p. 16), logo, a pesquisa se justifica também por propor a elaboração de mapeamentos temáticos, que visam interpretar o comportamento da ação do fogo na EESGT utilizando-se de técnicas de Sensoriamento Remoto.

Silva *et al.* (2021, p. 978) enfatizam que o avanço de pesquisas com o uso do Sensoriamento Remoto com a finalidade de dimensionamento e monitoramento das queimadas é de alta prioridade para subsidiar às decisões da gestão do poder público no curto prazo pós-incêndios.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a dinâmica espaço-temporal da ação do fogo na EESGT a partir da implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF).

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento histórico do uso do MIF na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins;
- Mapear a dinâmica espaço-temporal do fogo na EESGT com base na implantação do MIF (anos de 2010, 2014, 2018 e 2022); e
- Analisar a ação do fogo na EESGT após aplicação do MIF.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A referida pesquisa contemplará alguns aspectos considerados importantes como base conceitual, a saber: Uso do fogo e impactos ambientais no Cerrado; Gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza; MIF como instrumento de gestão do fogo; e Sensoriamento Remoto aplicado à gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza.

2.1 Uso do fogo e impactos ambientais no Cerrado

Apesar de suas características naturais, a ocorrência de incêndios florestais pode ser comum em alguns ecossistemas, e é ampliada devido a ação humana, tanto em extensão quanto em recorrência. Elementos básicos como material combustível disponível, relevo e clima são determinantes para o comportamento do incêndio florestal.

Ao se relacionar a presença do fogo em determinada área, os termos incêndio florestal e queimada são empregados habitualmente. O termo incêndio se define pela queima descontrolada, podendo causar impactos para o meio ambiente e para a sociedade, sua causa pode ser natural, acidental ou criminosa (causada pelo homem); e a queimada é caracterizada por ser de maneira controlada e de origem antrópica (FERREIRA, 2006).

São necessárias três condições simultâneas para a ocorrência de incêndios em vegetação do Cerrado: disponibilidade vegetal, existência de fonte de ignição e condições meteorológicas favoráveis (PEREIRA JÚNIOR, 2002, p. 7).

Costa (2018, p. 29) disserta que no Cerrado existe uma necessidade de manejar grandes áreas devido à rapidez em que a vegetação se renova após a queima, tornando essas áreas propensas à queima novamente em um espaço de tempo curto. Determinada evidência retrata a importância do desenvolvimento de políticas ambientais que eduquem sobre o período e os cuidados prévios à essa prática.

Para Henriques (2005, p 87), na ocorrência do fogo, os tipos fisionômicos passam por um processo de regressão para uma fisionomia de estágio mais aberta, com desenvolvimento do estrato inferior dominado por gramíneas e diminuição do componente arbóreo. Sendo que, Nascimento (2001, p. 33) considera que com a frequência excessiva de queimadas, espécies arbóreas sensíveis ao fogo não mantêm uma taxa positiva de crescimento populacional, em especial, as espécies arbóreas do cerradão. Em virtude da diversidade de paisagens (regiões ecológicas) que compõem o Cerrado, não se pode equalizar os efeitos do fogo neste bioma.

O fogo é uma realidade do Cerrado e sua supressão tem o poder de modificar significativamente a estrutura da vegetação, acarretando em consideráveis alterações das comunidades animais, de decompositores e dos solos (BARCELLOS, 2001, p. 20).

2.2 Gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza

A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. O instrumento legal define a Unidade de Conservação da Natureza (UC) como o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

Para Torquato e Costa (2007, p. 10), as Áreas Protegidas no Brasil apresentam as seguintes tipologias: Área de Proteção Permanente, Reserva Legal, Terra Indígena, Área de Reconhecimento Internacional e UCs.

Do ponto de vista legal, a legislação define em duas as categorias de UCs: as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. O objetivo básico das UCs de proteção integral é a preservação da natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais; e daquelas de uso sustentável é a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

De acordo com Cristo (2013, p. 27), a partir das décadas de 1980 e 1990 houve um crescimento nas discussões sobre questões ambientais, caracterizada por um clima de preocupação e, conseqüentemente, uma abordagem mais enfática sobre as UCs, sob a perspectiva de aprimoramento e intensificação da gestão destas áreas protegidas, com o propósito de controlar para o cumprimento das suas finalidades de criação.

Neste contexto, surge a problemática dos incêndios florestais como desafio para grande parte das UCs brasileiras. De acordo com Pereira *et al.* (2004, p. 96), o controle dos incêndios florestais depende de maiores esforços voltados à prevenção, ou, à atuação nas causas do problema e que os custos com prevenção são menores do que os gastos com combate aos incêndios florestais, sem mensurar ainda as perdas dos aspectos ambientais que ocorrem.

Uma das estratégias de gestão mais praticadas nas UCs brasileiras é a política de combate e supressão contínua do fogo, que acaba proporcionando o acúmulo de material combustível e favorecendo a ocorrência de incêndios de grande intensidade. Há pouco investimento em medidas de prevenção, dispensando muitos recursos no combate ao fogo.

Ressalta-se que para a preservação do ambiente diante dos efeitos do fogo descontrolado, é necessária a implementação de políticas de controle e prevenção considerando as características de cada região e que permitam identificar a recorrência desses incêndios e o traçado de seus perfis, sendo que, para Soares (2016, p. 35) o monitoramento de focos de incêndios, o mapeamento de cicatrizes de queima e as visitas a campo podem ser ferramentas importantes para compreensão da realidade e dos agentes envolvidos no processo.

Informações de detalhamento dos locais de ocorrência dos incêndios, extensão da área queimada, condições do clima e de inflamabilidade do material combustível são importantes no processo de definição das áreas onde ocorrem a quantidade maior de queimadas dentro das UCs. Essas variáveis podem contribuir de forma significativa na propagação das queimadas, auxiliando na definição das áreas mais críticas com o objetivo de orientar as ações de fiscalização e de prevenção dentro e no entorno das unidades de conservação.

As variáveis somadas aos históricos de queimadas georreferenciadas, podem facilitar na definição das áreas necessitadas de medidas de prevenção, entretanto, de acordo com Pereira *et al.* (2009, p. 6046), poucas unidades de conservação possuem seus dados georreferenciados.

2.3 MIF como instrumento de gestão do fogo

Aos poucos, a utilização ancestral e tradicional do fogo foi perdendo seu espaço conforme o crescimento das sociedades urbanas, tendo suas técnicas que foram desenvolvidas em meio às paisagens resistentes ao fogo, esquecidas. Em contrapartida, com a ocorrência dos grandes incêndios florestais e pelo prolongamento de sua época, a necessidade de se usar o fogo de forma consciente e prescrita vem sendo aceita (CASTELLNOU *et al.*, 2010, p. 4).

As queimadas utilizadas para a rebrota das pastagens e para a obtenção de novas áreas agrícolas podem resultar na perda de nutrientes e erosão dos solos, até mesmo em ambientes adaptados ao fogo, como o Cerrado (SOARES, 2016, p. 39). Porém, eliminar o fogo em sua totalidade é também uma forma de provocar a degradação da biota nativa, principalmente pelo fato de que o acúmulo de material combustível (biomassa vegetal seca) e a baixa umidade da época seca, sob a perspectiva da queimada realizada dentro dessas condições pode gerar temperaturas elevadas prejudiciais à fauna e à flora do solo (KLINK; MOREIRA, 2002, p. 83).

Muitos países desenvolveram programas de prevenção e supressão ao fogo, a partir do século XX, onde o fogo passou a ser visto como ameaça aos recursos naturais. Entretanto, na medida em que os programas de prevenção e supressão de incêndios se tornaram eficazes, a sociedade foi perdendo a noção da importância do fogo para o manejo da paisagem. O acúmulo

de combustível se tornou evidente, modificando a paisagem e tornando-a mais suscetível a incêndios de maior intensidade durante os anos atipicamente secos (SOARES, 2016, p. 39).

Diante dessa dinâmica, devido à ausência de queimadas naturais, houve um declínio na vegetação herbácea e na densidade das árvores, provocando um aumento das espécies lenhosas. A partir desse cenário, os estudos começaram a ser direcionados para buscar uma maneira de reintrodução do fogo na área.

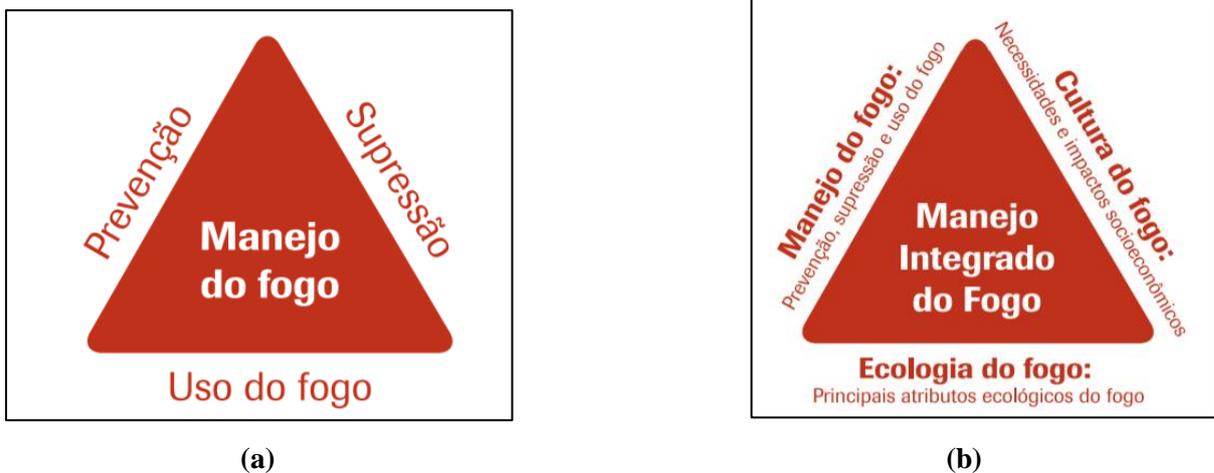
Para as políticas de gestão do fogo, a principal meta deve ser a de evitar incêndios descontrolados, mas para que isso aconteça, é preciso primeiramente entender e conhecer os regimes de fogo históricos e atuais para que neste paradoxo, o manejo integrado do fogo passe a ser visto como objeto de gestão desses eventos em áreas protegidas.

Laris e Wardell (2006, p. 14) retratam uma abordagem de manejo em que o fogo é considerado um mal necessário e que é também uma necessidade. E que a partir da perspectiva de redução de riscos de incêndios e, conseqüentemente, de aumento da utilidade da paisagem, os incêndios prescritos devem ser entendidos como um componente essencial de uma gestão estratégica para a savana, e não tão somente como um mal necessário (*necessary evil*).

Neste cenário, o Manejo Integrado do Fogo – MIF – surge com a finalidade de manter uma diversidade de queima, espacialmente e temporalmente, em prol da importância de se variar os padrões do fogo, considerando que a queima em mosaico produz heterogeneidade da paisagem, resultante da aplicação de incêndios variados em diversos períodos de fogo (SOARES, 2016, p. 40).

Myers (2006, p. 9-10) diferencia Manejo do Fogo (Figura 3a) de Manejo Integrado do Fogo (MIF) (Figura 3b). Apresenta no triângulo do fogo as ações envolvidas em três conjuntos – as de prevenção, de combate e de uso do fogo. Enquanto, no triângulo representacional do MIF, seus lados contemplam o Manejo do Fogo (a prevenção, o combate e o seu uso), a ecologia do fogo e a cultura do fogo.

Figura 3 – Triângulo do Manejo do Fogo (a) e Triângulo do Manejo Integrado do Fogo (b)



Fonte: Myers (2006, p. 9-10).

Myers (2006, p. 9) define que “o Manejo do Fogo é um conjunto de decisões técnicas e de ações direcionadas que buscam prevenir, detectar, controlar, conter, manipular ou usar o fogo em uma determinada paisagem para atender metas e objetivos específicos”. E a partir disso, conceitua o Manejo Integrado do Fogo como

uma abordagem para enfrentar os problemas e as questões apresentadas pelos malefícios e benéficos do fogo dentro do contexto dos ambientes naturais e dos sistemas socioeconômicos nos quais ocorrem, pela avaliação e equilíbrio dos riscos relativos apresentados pelo fogo, e o papel benéfico ou ecológico necessário e econômico que pode desempenhar em uma determinada área de conservação, da paisagem ou da região. O Manejo Integrado facilita a implementação de abordagens que analisam o custo-benefício evitando os incêndios danosos e mantendo o regime de fogo adequado. Quando os incêndios ocorrem, determinam um modelo para avaliar se os efeitos serão maléficis, benéficos ou benignos, confrontar os benefícios e os riscos relativos e responder adequada e eficazmente com base em metas definidas para a área em questão. Gerenciar os aspectos benéficos das queimadas pode envolver várias formas de uso do fogo. (MYERS, 2006, p. 9).

Em relação a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT), em 2014, a equipe gestora da UC elaborou o primeiro Plano de Manejo Integrado do Fogo do Brasil onde estava prevista o início de queimas prescritas na Unidade. Sendo que o primeiro Plano de MIF da EESGT foi elaborado em junho deste mesmo ano, após uma missão técnica-institucional à Austrália (BARRADAS *et al.*, 2020, p. 79).

A missão à Austrália teve o intuito de conhecer os componentes do MIF em região similar ao Cerrado brasileiro. Sendo que, inicialmente, o MIF da Estação Ecológica foi baseado em expectativas conservacionistas, com objetivo de fragmentação da paisagem, que até então era homogênea pela incidência de grandes incêndios, e também, para alteração da

sazonalidade do fogo (aumento da queimada precoce no início da estação seca, no lugar do fogo de alta intensidade no final da mesma estação) (BARRADAS *et al.*, 2020, p. 80).

Apesar do primeiro Plano de Manejo Integrado da Estação Ecológica ter sido elaborado em 2014, as discussões se iniciaram em 2012 no ICMBio, tendo se impulsionado a partir do projeto “Prevenção, Controle e Monitoramento de Queimadas Irregulares e Incêndios Florestais no Cerrado”, conhecido também como Projeto Cerrado-Jalapão, resultado de uma cooperação técnica entre a Alemanha e o Brasil (BORGES *et al.*, 2021, p. 169).

Segundo Costa (2018, p. 31), o projeto é desenvolvido em áreas piloto, cujo objetivo central da aplicação é o mapeamento de áreas tendenciosas a queima e antecipação da passagem do fogo (fogo precoce) no início da estação seca ou no final da estação chuvosa, devido as condições climáticas serem mais favoráveis ao controle do fogo e a severidade considerada mais baixa.

A primeira unidade de conservação do mundo a utilizar o fogo para proteção da biodiversidade foi o Parque Nacional do Kruger, localizado no nordeste da África do Sul e, a exemplo disso, a EESGT tem ajustado suas estratégias conforme as experiências e evolução dos objetivos da gestão. Portanto, a partir de 2017, após o amadurecimento do entendimento da pirodiversidade e valorização da tecnologia tradicional local de queima em mosaico por parte dos gestores, foram admitidas também as queimas tardias como uma necessidade do ecossistema e também das comunidades (BARRADAS *et al.*, 2020, p. 80).

A esboço do que já foi abordado, ascende no Brasil o Projeto de Lei nº 11.276/2018 para instituir a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, que traz no seu art. 1º os seguintes objetivos:

Art. 1º Fica instituída a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, com o objetivo de disciplinar e promover a articulação interinstitucional relativa:

- I – ao manejo integrado do fogo;
- II – à redução da incidência e dos danos dos incêndios florestais no território nacional;
- e
- III – ao reconhecimento do papel ecológico do fogo nos ecossistemas e ao respeito aos saberes e práticas de uso tradicional do fogo. (BRASIL, 2018, p. 1).

O dispositivo legal aborda também em seu artigo 8º os instrumentos que compõem a Política Nacional do MIF: os planos de manejo integrado do fogo, os programas de brigadas florestais, o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo), os instrumentos financeiros, as ferramentas de gerenciamento de incidentes, o Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional Nacional (CIMAN) e a educação ambiental.

Em seu artigo 40, a PL 11.276/2018 asserta que o manejo integrado do fogo em unidades de conservação (áreas protegidas)

colaborará para o cumprimento dos objetivos de criação, de reconhecimento e de conservação de cada área protegida, com vistas ao manejo conservacionista da vegetação nativa e da sua biodiversidade e a manutenção da cultura das populações residentes. (BRASIL, 2018, p. 29).

E estabelece que compete ao órgão gestor, com a participação das comunidades envolvidas, a elaboração do plano de manejo integrado do fogo, contemplando estratégias e técnicas a serem aplicadas, o regime do fogo, as áreas geográficas ou fitofisionomias alvo e os métodos de monitoramento e avaliação (BRASIL, 2018, p. 29-30).

Não obstante, o mencionado Projeto de Lei foi apreciado e aprovado pela Câmara dos Deputados no dia 28 de outubro de 2021 e encaminhado através do Ofício nº 1.378/2021/SGM-P para o Senado Federal, onde encontra-se aguardando para apreciação.

2.4 Sensoriamento Remoto aplicado à gestão do fogo em Unidades de Conservação da Natureza

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a técnica que faz uso de sensores para captação e registro à distância (sem contato direto) da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre (FITZ, 2008, p. 109).

Ainda de acordo com o mesmo autor, o termo “sensores” utilizado no conceito acima, podem ser entendidos como dispositivos que captam energia refletida ou emitida por um objeto (superfície) qualquer e as registram na forma de dados digitais (gráficos, imagens, dados numéricos, etc.). Esses dados podem ser manipulados e analisados através de softwares específicos. A captação dos dados pelos sensores necessita de alguns elementos básicos: fonte/energia radiante (ex.: energia solar); objeto de visada (alvo na superfície); e sistema de imageamento óptico e detector (sensor).

Quanto ao uso do Sensoriamento Remoto (SR) na detecção de queimadas, este se baseia em praticamente dois subprodutos do fogo: a liberação de calor e as modificações físico-biológico-estruturais do material carbonizado. Ainda, a partir destes, pode-se categorizar basicamente a detecção de fogos ativos e cicatriz de queimada (LIMA *et al.*, 2013, p. 288).

O SR é uma ferramenta importante para monitoramento das mudanças no uso e cobertura da terra devido a facilidade em observar uma área maior e com frequência mais alta.

Através deste tipo de mapeamento é possível quantificar as áreas úmidas, urbanas, de cultura temporária, de pastagem, de vegetação e de solo exposto.

Considerando-se a vegetação como combustível para o fogo, destacam-se os índices de vegetação que são processamentos importantes para composição de estudos sobre o nível e a saúde da vegetação. Tratam-se de operações aritméticas realizadas entre as bandas (espectrais) de uma imagem que buscam explorar o comportamento espectral da vegetação para realçar as características das plantas (ZANOTTA *et al.*, 2019, p. 169-170).

Para o mesmo autor, um dos índices mais comuns é o índice de vegetação por diferença normalizada (*normalized difference vegetation index* – NDVI) cuja finalidade é a de realçar o contraste entre o solo e vegetação e minimizar os efeitos das condições de iluminação da cena.

O NDVI consiste na diferença de reflectância no infravermelho próximo (NIR) e a reflectância no vermelho (R) dividida pela soma dessas duas bandas: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. Os resultados variam de -1 a +1 por pixel, de maneira de que, quanto mais próximo de +1, maior densidade da vegetação e, quanto mais próximo de -1, maior o indício de presença de solos descobertos e rochas, e a água apresenta resultados negativos próximos de -1 (SANTOS, 2020, p. 40).

Chaves *et al.* (2021, p. 49) consideram que é imprescindível a intensificação do combate ao uso indiscriminado do fogo, prejudicial à biodiversidade em geral, que são detectados a partir dos focos de calor nas UCs. Também menciona que o período de transição entre o seco e o chuvoso torna essa faixa de alerta para as unidades de conservação devido a maior susceptibilidade de queimadas e que o ponto de partida para o monitoramento do fogo são os focos de calor que podem ser detectados através das imagens de satélites.

Além dos indicativos dos locais que devem ser monitorados em relação ao fogo, os focos de calor subsidiam também análises como a concentração espacial de indicativos de fogo e informações importantes do comportamento do fogo nas UC em série temporal (BORGES *et al.*, 2021, p. 170).

Outros mapeamentos importantes para a interpretação visual do comportamento do fogo são os de cicatrizes e recorrências de queimadas. Porém, o mapa de acúmulo de material combustível também tem sido uma opção a acrescentar nos estudos relacionados à gestão do fogo. Borges *et al.* (2021, p. 171) comenta que este processamento de Sensoriamento Remoto pretende estimar o material combustível (vegetação seca/morta), suscetível a queima de vegetação, assim como os demais demonstrados, este tipo de mapeamento permite o monitoramento do acúmulo de combustível e auxilia na identificação de áreas prioritárias para o desenvolvimento do MIF.

Segundo o ICMBio (2020, p. 6), as queimas prescritas na EESGT têm evoluído com o auxílio das tecnologias geoespaciais que subsidiam a elaboração de mapas de risco de fogo e de acúmulo de combustíveis, e que são usados zoneamento, mapas de vegetação, de cicatrizes de queima do ano anterior e de idade de queima como suportes para o planejamento e prescrição das queimas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa realizou-se uma abordagem de aspectos fundamentais, como: Uso e Ocupação da Terra (Cicatrizes de Fogo), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Focos de Calor e Índice de Recorrência de Queimadas.

A manipulação e gerenciamento desses dados foram realizados através de softwares específicos de Processamento Digital de Imagens (PDI) e de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o objetivo de integrá-los para desenvolver a pesquisa e obter os resultados esperados. Portanto, a pesquisa consiste nos seguintes procedimentos adotados:

3.1 Levantamento de Material Bibliográfico

O levantamento fora realizado por meio de consultas, de leituras e de seleção de bibliografias como literaturas, artigos, dissertações, teses e demais referencias relacionadas à temática em questão. Em que se teve como base um levantamento histórico de livros, jornais, sites, bibliotecas, dentre outras fontes. Entre as referências levantadas podem ser destacadas o Plano de Manejo da EESGT, pesquisas realizadas por Cristo (2013) e por Costa (2018), entre outras pesquisas e trabalhos desenvolvidos em âmbito mundial, nacional e estadual referentes à gestão do fogo e a implantação de políticas de seu Manejo Integrado em Unidades de Conservação da Natureza.

3.1.1 Caracterização do processo histórico do uso do MIF na EESGT

Baseou-se na realização de um levantamento de registros históricos encontrados em livros, jornais, sites, bibliotecas, informações prestadas pela Unidade Gestora da UC e outras fontes que abarcaram a finalidade da pesquisa e do objeto.

3.2 Levantamento de Material Cartográfico

Para o levantamento do material cartográfico foram consultadas bibliotecas digitais e físicas que contém dados de órgãos pertinentes ao assunto, ex.: Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército (DSG), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – SRTM), *Earth Explorer (Science for a Changing World – USGS)*, Google Earth, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins (SEPLAN-TO), portal de Geotecnologias (Forest-GIS), Topodata, entre outros.

Entre os materiais cartográficos obtidos estão as cartas topográficas, arquivos vetoriais e matriciais como mapas pré-existentes, imagens de satélites e SRTM.

Destaca-se também que o ArcGIS foi o software utilizado para o tratamento das informações geográficas.

3.3 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado na data de 24 de setembro de 2022, durante os períodos da manhã e da tarde, para reconhecimento da área de pesquisa e levantamentos de informações sobre as atividades relacionadas às ações do fogo, com o objetivo de aferir e validar os produtos cartográficos confeccionados em laboratório e verificação das consequências das ações do fogo que estão ocorrendo no objeto da pesquisa.

Nestes trabalhos foram utilizados equipamentos como: receptor do Sistema de Posicionamento Global – GPS, para localização espacial dos dados e máquina fotográfica digital para levantamento e registros fotográficos da área. Além disto, destaca-se também, que foi utilizado veículo para reambulação de campo com apoio do ICMBio – sede da EESGT localizada no município de Rio da Conceição.

3.4 Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos de laboratórios foram realizados com apoio direto do Laboratório de Geoprocessamento do Campus de Porto Nacional, com a disponibilização de softwares como o ArcGis, receptor de navegação e máquina fotográfica.

De maneira geral pode-se evidenciar alguns procedimentos principais realizados como: a Caracterização Histórica do processo de gestão do fogo na EESGT; o Mapeamento da dinâmica temporal do fogo com base na implantação do MIF na EESGT; a análise da ação do fogo na EESGT após a aplicação do MIF; a discussão da importância e complexidade do MIF

para a EESGT; a Verificação da eficácia do Uso do SR como instrumento de análise e o monitoramento da ação do fogo na EESGT.

3.4.1 Obtenção das imagens de satélites e organização do banco de dados

As imagens de satélites foram obtidas no *Earth Explorer (Science for a Changing World – USGS)*, ou Serviço Geológico dos Estados Unidos, cujo período filtrado foi entre junho e setembro (período de seca) do ano de referência (2010, 2014, 2018 e 2022), conforme disponibilidade no catálogo, dando preferência àquelas que não apresentaram cobertura de nuvens e ruídos. Na Tabela 1 estão descritas as informações dos satélites, bandas espectrais (infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho), órbita/ponto, datas e resolução espacial das imagens.

Tabela 1 – Descrição dos dados das imagens de satélites obtidas no catálogo da USGS

| Satélite | Sensor | Bandas Espectrais | Órbita/Ponto | Datas | Resolução Espacial |
|------------------|--------|-------------------|--------------|------------|--------------------|
| LANDSAT 5 | TM | 5R, 4G e 3B | 220-067 | 15/08/2010 | 30m |
| | | | 220-068 | 15/08/2010 | |
| | | | 221-067 | 07/09/2010 | |
| | | | 221-068 | 07/09/2010 | |
| LANDSAT 8 | OLI | 6R, 5G e 4B | 220-067 | 11/09/2014 | 30m |
| | | | 220-068 | 11/09/2014 | |
| | | | 221-067 | 02/09/2014 | |
| | | | 221-068 | 02/09/2014 | |
| LANDSAT 8 | OLI | 6R, 5G e 4B | 220-067 | 20/07/2018 | 30m |
| | | | 220-068 | 20/07/2018 | |
| | | | 221-067 | 27/07/2018 | |
| | | | 221-068 | 27/07/2018 | |
| LANDSAT 8 | OLI | 6R, 5G e 4B | 220-067 | 15/07/2022 | 30m |
| | | | 220-068 | 15/07/2022 | |
| | | | 221-067 | 06/07/2022 | |
| | | | 221-068 | 06/07/2022 | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Organizou-se o banco de dados de maneira sistêmica, na qual as imagens obtidas possuem processamento de Nível 2 (L2) que consiste na imagem com correção radiométrica e geométrica de sistema. Foram realizados os procedimentos de reprojeção do sistema de referência para o Datum Horizontal Sirgas 2000, Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23S. Após isso, fez-se o processo de mosaicagem e a respectiva composição colorida falsa cor (RGB), conforme características espectrais de cada banda dos satélites utilizados.

A organização do banco de dados também consistiu na importação dos dados vetoriais para sobreposição às imagens e interpretação visual. Como também, permitiu a sistematização para elaboração dos mapas de focos de calor com os dados obtidos do BD Queimadas INPE, de NDVI e de cicatrizes de fogo.

3.4.2 Mapeamento da dinâmica temporal do fogo com base na implantação do MIF na EESGT

Teve como base o uso do Sensoriamento Remoto, onde foram utilizadas imagens de satélites para obtenção de informações relativas à evolução temporal da ação do fogo na EESGT entre os anos de 2010 e 2022. Período este, justificado pela implantação do MIF na EESGT ser datado do ano de 2014, assim poderá ser observado, o antes e o depois da sua implantação e, conseqüentemente, os resultados, os avanços e as dificuldades da gestão do fogo.

Deste modo, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5, sensor TM (ano de 2010) e Landsat 8, sensor OLI (anos de 2014, 2018 e 2022), ambas com resolução espacial de 30m e que foram obtidas no catálogo da USGS, conforme mencionado no subitem anterior.

Os Mapas das Cicatrizes de Fogo serão realizados através de uma classificação supervisionada de imagens de satélites para os respectivos anos de análise obtendo-se os dados de Uso da Terra, em que já foi realizado o processamento digital das imagens (processo de correções, mosaicagem e operações aritméticas de banda).

A classificação de imagem é um processo que consiste na extração de informações para reconhecer padrões e objetos homogêneos, usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam o mesmo significado em imagens digitais. O processo determina para cada *pixel* da imagem de sensoriamento remoto, qual categoria está presente na superfície terrestre, como solo, água, vegetação, através de atributos espectrais, como o nível de cinza presente em cada banda (ZANOTTA *et al.*, 2019, p. 239).

Os Mapas de Focos de Calor foram elaborados através de dados mensais das coordenadas dos focos de calor detectados pelo satélite de referência AQUA-MT

disponibilizados pela divisão de processamento de imagens do INPE-BD-Queimadas a partir do ano 1998 e disponíveis no formato *shapefile* para os respectivos anos de análise. Como já abordado, o intervalo de anos utilizados para essa análise espaço-temporal foram os anos de 2010, 2014, 2018 e 2022. A partir da coleta desses dados na biblioteca do BD-Queimadas, fez-se a compilação dos mesmos no software ArcGis, a manipulação desses dados envolveu o procedimento de projetá-los para o Sistema de Projeção UTM, Datum Horizontal Sirgas 2000 e Fuso 23S.

Para elaboração dos mapas de focos de calor utilizou-se da ferramenta *Density* no ArcGis, cujo estimador de densidade usado foi o de *kernel*. Esse tipo de mapa é uma alternativa para análise geográfica que envolve comportamento de padrões, em que, por meio da interpolação dos pontos, é obtida a intensidade pontual do fenômeno em questão, permitindo uma visão geral de toda região envolvida na área de estudo (SOUZA *et al.*, 2013). No estimador da densidade de *kernel* é desenhada uma vizinhança circular em torno de cada amostra que corresponde ao seu grau de influência, na qual é aplicada a função matemática de 1 (um), na posição do ponto, a 0 (zero), na fronteira de vizinhança. Cada célula tem como valor a soma de todos os valores de *kernel* sobrepostos e divididos pela área de cada raio (SILVERMAN, 1986).

Após a aplicação da densidade de *kernel* nos pontos coletados do banco de dados de queimadas do INPE, foi realizada a reclassificação do arquivo *raster* (matricial) resultante dessa operação. Onde considerou-se cinco classes nominais para a incidência de focos de calor: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Suas feições foram representadas nos mapas de densidades de *kernel* para cada ano pelas cores verde escuro, verde claro, amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. Optou-se também por converter cada uma das classes para o arquivo de formato vetorial, para que fosse possível extrair as áreas em km² de cada uma dessas feições e assim, elaborar o gráfico e tabela apresentados nos resultados e análises.

Os Mapas de NDVI foram produzidos através do cruzamento de bandas espectrais de imagens, com a aplicação do algoritmo proposto por Jensen (1996) que consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho dividido pela soma dessas duas bandas como mostra a seguinte equação: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$

Em que: NDVI é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo e o R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho.

Assim como os sensores serão dois (Landsat 5 - TM e Landsat 8 - OLI) as bandas serão diferentes:

NDVI (Landsat 5) = (Banda 4 – Banda 3) / (Banda 4 + Banda 3) (Equação 1), onde Banda 4 equivale a reflectância no intervalo espectral do infravermelho próximo e Banda 3 no vermelho.

NDVI (Landsat 8) = (Banda 5 – Banda 4) / (Banda 5 + Banda 4) (Equação 2), onde Banda 5 equivale a reflectância no intervalo espectral do infravermelho próximo e Banda 4 do vermelho.

O Mapa de Recorrência de Fogo foi produzido com base na sobreposição dos arquivos do tipo *raster* gerados pela classificação das Cicatrizes de Fogo dos respectivos anos de análise via software ArcGis e em seguida foi feita a conversão desses arquivos para o formato *shape* para que fosse possível realizar a extração das áreas de recorrência de queimadas.

A abordagem do termo de “recorrência de fogo (queimadas)” adotada nesta pesquisa é a proposta por Heinselman (1981) que se trata dos intervalos para o retorno do fogo a uma determinada área. A permanência de queimadas está relacionada ao tempo transcorrido entre o aparecimento da cicatriz do fogo até o desaparecimento dela que resulta no processo de rebrota da cobertura vegetal.

Para Costa (2018, p. 51), o Índice de Reocorrência de Queimadas (IRQ) pode ser definido como a soma dos eventos ocorridos para cada ano, numa interpretação pixel a pixel, dividida pelo produto pelo total de mapas utilizados na análise temporal, conforme equação abaixo:

$$\text{IRQ} = (\text{QA1} + \text{QA2} + \text{QA3} + \text{QA4}) / n$$

Sendo que QA1, QA2, QA3 e QA4 são as áreas caracterizadas pela ocorrência dos incêndios e queimadas observadas por área, para cada ano da série temporal e n é o número total de anos dessa série histórica. O resultado dessa operação aritmética é mostrando em valores que variam de 0 a 1, na qual quanto mais próximo de 0, menor é a recorrência de eventos danosos e quanto mais próximo de 1, maior é a incidência do fogo.

3.4.3 Elaboração dos produtos cartográficos

Os produtos cartográficos que estão contidos nos resultados e análises foram elaborados no *software* ArcGis: Mapas de Focos de Calor, Mapa de Cicatrizes de Fogo (Classificação Supervisionada), NDVI e Mapa de Recorrência de Queimadas.

3.4.4 Análise da ação do fogo na EESGT após aplicação do MIF

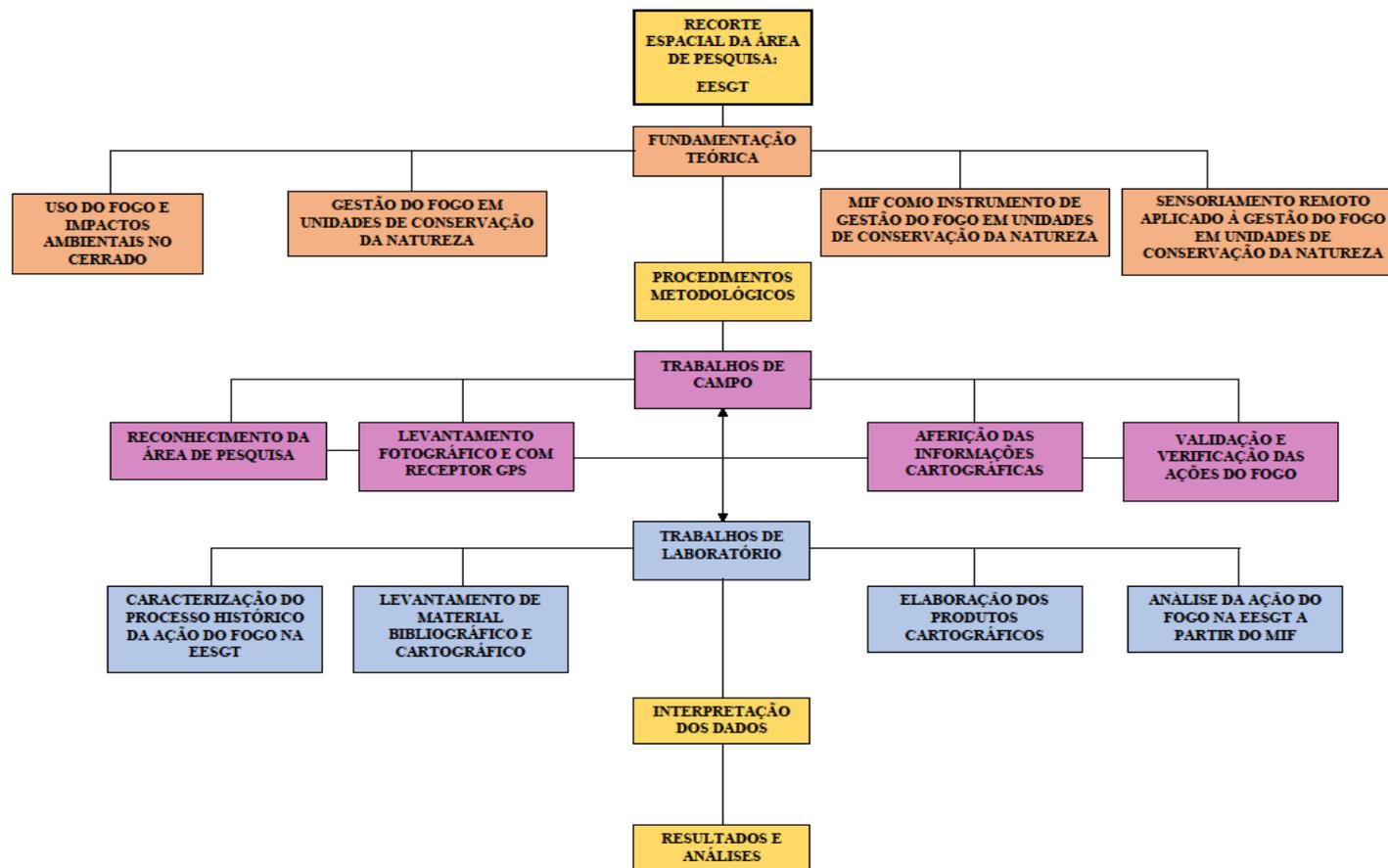
Nesta etapa foi realizada uma análise comparativa entre os dados quantitativos e qualitativos da ação do fogo, obtidos com os mapas temáticos confeccionados, dos anos de 2010, 2014, 2018 e 2022, de modo que fosse possível observar, principalmente a ação do fogo e como se desenvolveu a sua gestão no decorrer desse intervalo de tempo, permeado antes e a partir dos primeiros trabalhos de implantação do Plano de Manejo Integrado do Fogo na EESGT até os dias atuais.

3.4.5 Verificação da eficácia do uso do Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise, monitoramento e melhoria da gestão do fogo nas Unidades de Conservação da Natureza.

Através da análise dos resultados adquiridos sobre a ação do fogo, foram verificadas as potencialidades, as fragilidades e o quanto esses dados trarão de subsídios para gestão do fogo na EESGT.

Para observação geral da realização da pesquisa e dos procedimentos metodológicos adotados apresenta-se a Figura 4.

Figura 4 – Síntese da pesquisa



4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Dinâmica espaço-temporal do fogo na EESGT

Tendo como base a análise da dinâmica espaço-temporal do fogo na EESGT entre os anos de 2010 e 2022, discorre-se em seguida sobre os resultados obtidos a partir do que se estabeleceu para a realização da pesquisa, englobando os dados climáticos e suas implicações, o mapeamento de focos de calor, o mapeamento utilizando Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o mapeamento de cicatrizes de fogo e o mapeamento resultante da aplicação do Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ). Sendo que as análises se concentraram nas discussões que permeiam o Manejo Integrado do Fogo na área de pesquisa.

4.1.1 Dados climáticos da área e suas implicações

Elaborou-se a caracterização climática a partir da coleta dos dados de estações pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos de Estudos e Pesquisas (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). E considerando que ocorreu uma dificuldade na disponibilização de dados de estações meteorológicas que sejam circundantes ou próximas à área de pesquisa, fez-se a obtenção por meio de estações que apresentaram uma amostragem de dados maiores. As estações meteorológicas eleitas para a realização da análise foram: Alto Parnaíba – MA, Barreiras – BA, Correntina – BA, Peixe – TO, Porto Nacional – TO e Taguatinga – TO, sendo as 4 primeiras do tipo automáticas e as duas últimas convencionais, respectivamente. A Tabela 2 dispõe sobre a localização de cada uma das estações utilizadas.

Tabela 2 – Localização das estações meteorológicas utilizadas

| Estação | Coordenada E | Coordenada N | Fuso UTM |
|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Alto Paranaíba - MA | 397592,61 | 8993038,90 | 23 S |
| Barreiras – BA | 497068,20 | 8659654,62 | |
| Correntina – BA | 541423,18 | 8526061,99 | |
| Peixe – TO | 767369,74 | 8670563,73 | 22 S |
| Porto Nacional – TO | 783699,43 | 8814799,57 | |
| Taguatinga - TO | 343645,30 | 8628547,20 | 23 S |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

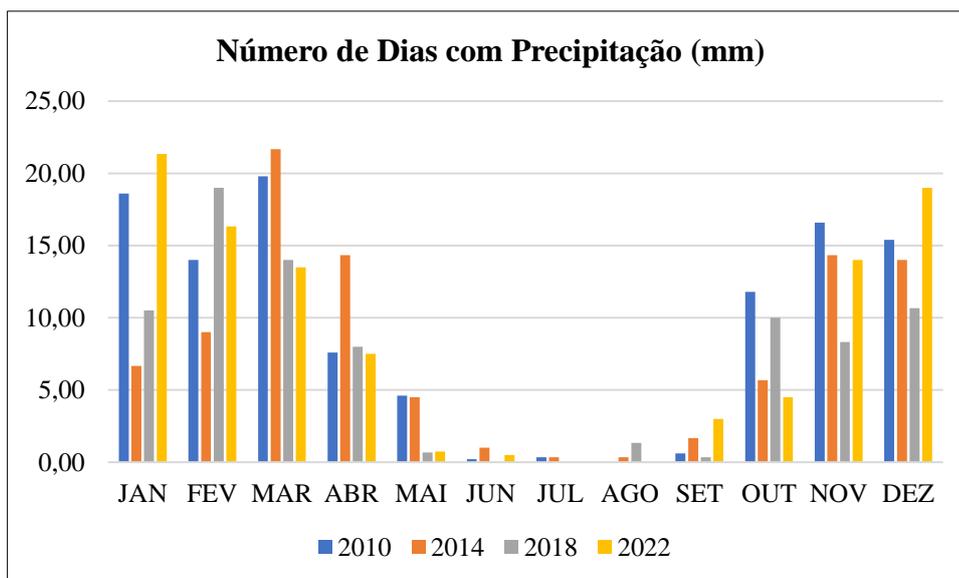
Acerca da precipitação pluviométrica é possível identificar que o período que permeia a seca referente aos meses de junho, julho, agosto e setembro é nulo ou há um baixo índice de dias com precipitação (Tabela 3 e Gráfico 1). Sendo que nesse período a precipitação chega a apresentar valores correspondente a zero no acúmulo mensal em milímetro (Tabela 4 e Gráfico 2) o que pode justificar a possibilidade de uma maior propagação de eventos relacionados à dinâmica do fogo.

Tabela 3 – Número de dias com precipitação em milímetros

| Número de Dias com Precipitação (mm) | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mês/Ano | 2010 | 2014 | 2018 | 2022 |
| JAN | 18,6 | 6,7 | 10,5 | 21,3 |
| FEV | 14,0 | 9,0 | 19,0 | 16,3 |
| MAR | 19,8 | 21,7 | 14,0 | 13,5 |
| ABR | 7,6 | 14,3 | 8,0 | 7,5 |
| MAI | 4,6 | 4,5 | 0,7 | 0,8 |
| JUN | 0,2 | 1,0 | 0,0 | 0,5 |
| JUL | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| AGO | 0,0 | 0,3 | 1,3 | 0,0 |
| SET | 0,6 | 1,7 | 0,3 | 3,0 |
| OUT | 11,8 | 5,7 | 10,0 | 4,5 |
| NOV | 16,6 | 14,3 | 8,3 | 14,0 |
| DEZ | 15,4 | 14,0 | 10,7 | 19,0 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 1 – Número de dias com precipitação

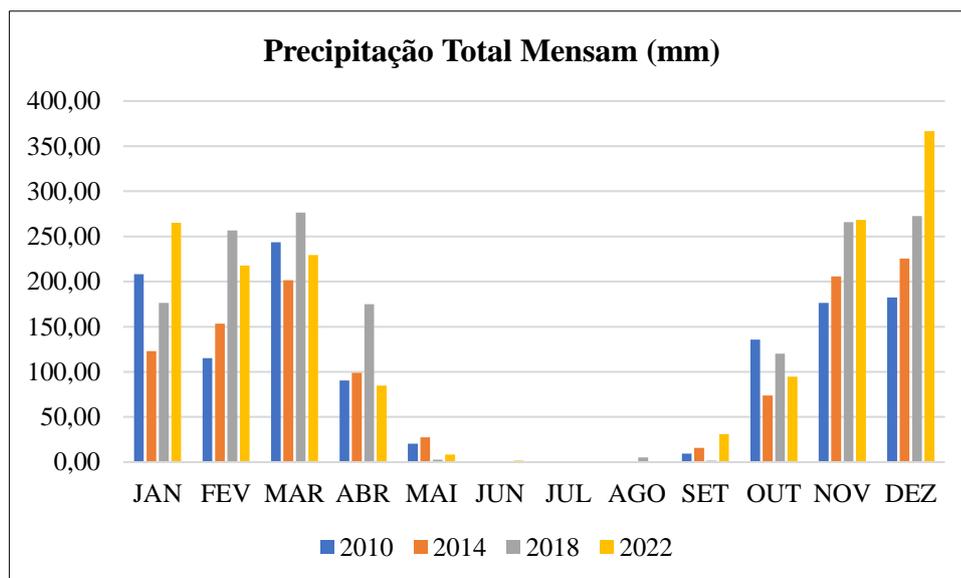


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 4 – Precipitação total mensal em milímetros

| Precipitação Total Mensal (mm) | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mês/Ano | 2010 | 2014 | 2018 | 2022 |
| JAN | 208,10 | 123,02 | 176,23 | 265,03 |
| FEV | 115,35 | 153,48 | 256,83 | 217,90 |
| MAR | 243,68 | 201,43 | 276,50 | 229,55 |
| ABR | 90,50 | 99,00 | 175,05 | 84,64 |
| MAI | 20,57 | 27,58 | 2,78 | 8,36 |
| JUN | 0,12 | 0,53 | 0,00 | 1,76 |
| JUL | 0,45 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| AGO | 0,10 | 0,72 | 5,30 | 0,00 |
| SET | 9,28 | 15,94 | 1,58 | 31,10 |
| OUT | 135,77 | 73,65 | 120,10 | 94,77 |
| NOV | 176,25 | 205,80 | 265,95 | 268,17 |
| DEZ | 182,43 | 225,65 | 272,45 | 366,63 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 2 – Precipitação total mensal

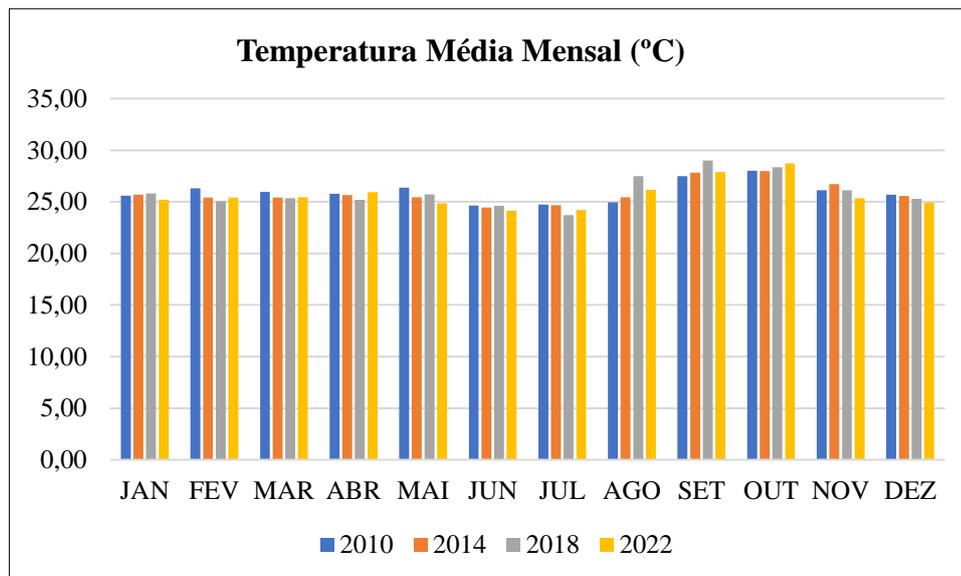
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Sobre a temperatura média mensal (Tabela 5 e Gráfico 3), há uma homogeneidade espacial e sazonal da temperatura, o que não acontece se comparada à pluviosidade. No período seco, a temperatura média mensal mais alta é no mês de setembro correspondendo a 27,48°C para o ano de 2010, 27,83°C para o ano de 2014, 29,01°C para o ano de 2018 e 27,88°C para o ano de 2022.

Tabela 5 – Temperatura média mensal em grau *celcius*

| Temperatura Média Mensal (°C) | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mês/Ano | 2010 | 2014 | 2018 | 2022 |
| JAN | 25,58 | 25,68 | 25,80 | 25,19 |
| FEV | 26,31 | 25,41 | 25,08 | 25,42 |
| MAR | 25,96 | 25,40 | 25,34 | 25,45 |
| ABR | 25,79 | 25,67 | 25,19 | 25,94 |
| MAI | 26,38 | 25,45 | 25,73 | 24,85 |
| JUN | 24,63 | 24,44 | 24,61 | 24,13 |
| JUL | 24,74 | 24,66 | 23,70 | 24,20 |
| AGO | 24,94 | 25,43 | 27,47 | 26,14 |
| SET | 27,48 | 27,83 | 29,01 | 27,88 |
| OUT | 28,02 | 27,98 | 28,36 | 28,72 |
| NOV | 26,11 | 26,72 | 26,11 | 25,35 |
| DEZ | 25,69 | 25,57 | 25,28 | 24,92 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

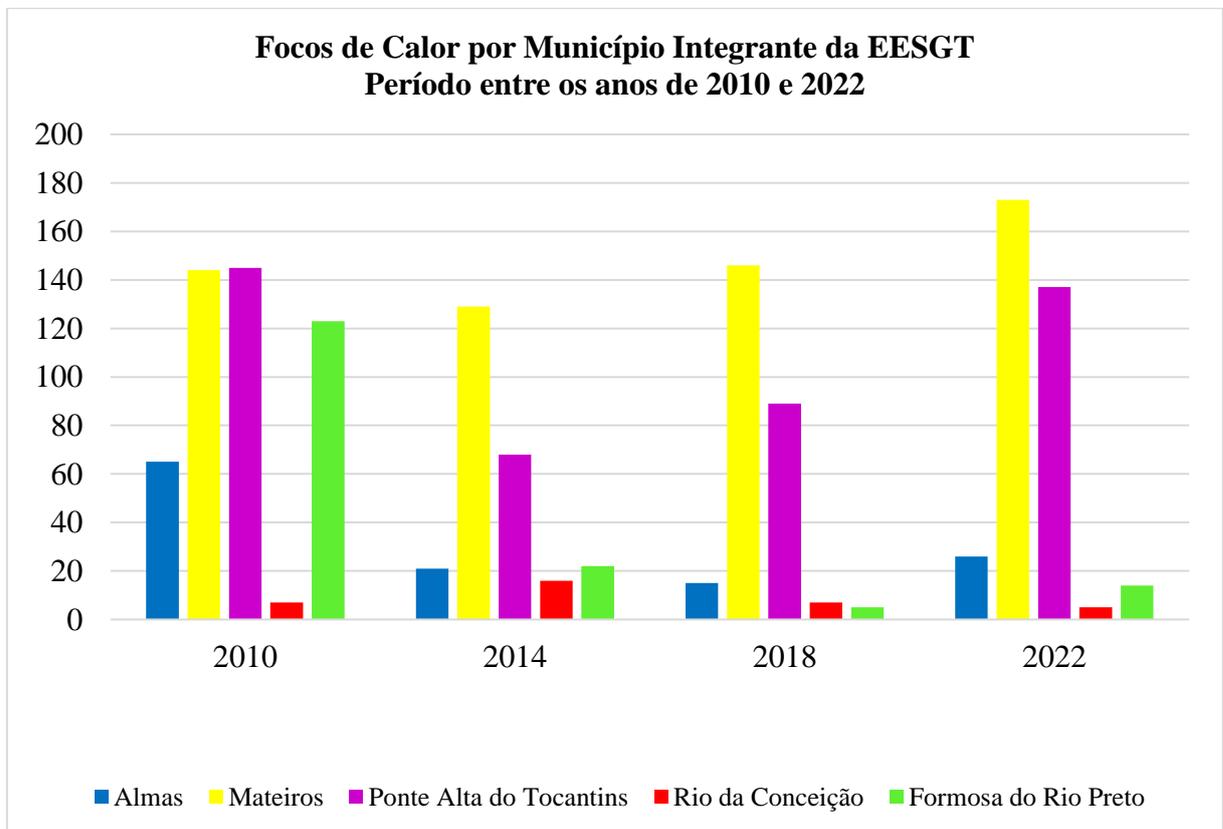
Gráfico 3 – Temperatura média mensal em grau *celcius*

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.2 Mapeamento dos Focos de Calor

Foram quantificados 1.357 pontos de focos de calor, conforme os dados analisados dos anos de 2010, 2014, 2018 e 2022 (coletados até 04/08/2022) obtidos pelo sensor AQUA-MT do BD Queimadas do INPE. No Gráfico 4 e Tabela 6 pode-se observar que foram contabilizados 484, 256, 262 e 355 focos de calor, para cada um dos anos, respectivamente. Portanto, o ano de 2010 foi o de maior incidência de focos de calor, com 484 pontos. Em contrapartida, o ano de menor incidência foi o de 2014, com 256 focos.

Gráfico 4 – Focos de calor anual por município integrante da EESGT, 2010 a 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 6 – Focos de calor anual de cada município integrante da EESGT, 2010 a 2022

| MUNICÍPIO | 2010 | 2014 | 2018 | 2022 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Almas | 65 | 21 | 15 | 26 |
| Mateiros | 144 | 129 | 146 | 173 |
| Ponte Alta do Tocantins | 145 | 68 | 89 | 137 |
| Rio da Conceição | 7 | 16 | 7 | 5 |
| Formosa do Rio Preto | 123 | 22 | 5 | 14 |
| Total | 484 | 256 | 262 | 355 |

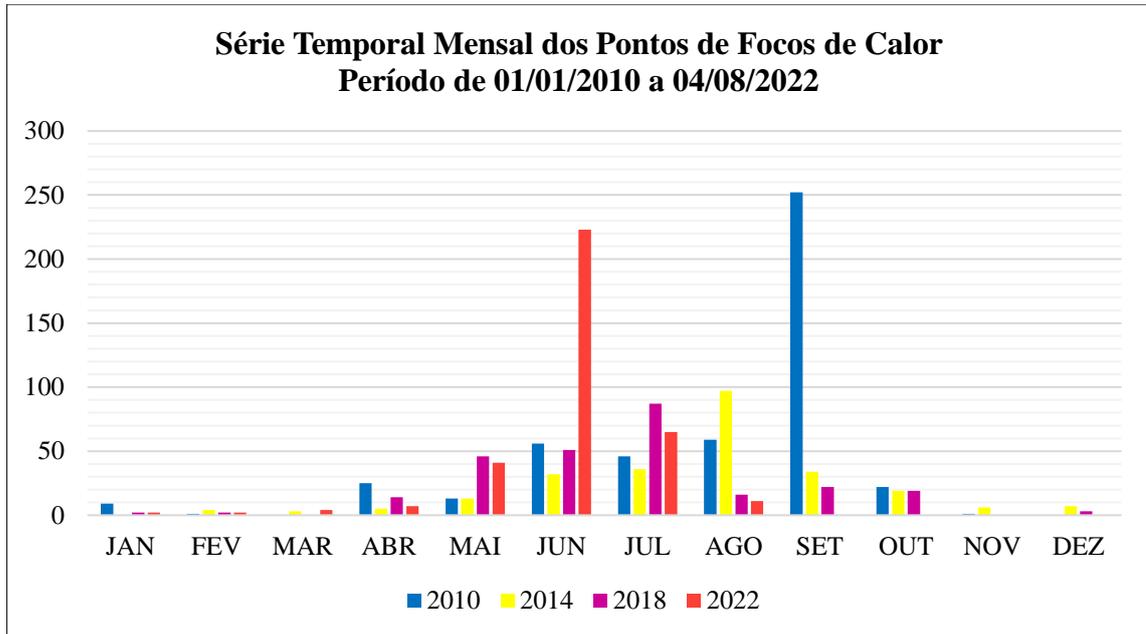
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No Gráfico 4 e na Tabela 6, também pode ser verificada a quantidade de focos de calor por cada município integrante da EESGT. Sendo que, no ano de 2010, o município de Ponte Alta do Tocantins foi o que apresentou o maior número de focos de calor e o município de Rio da Conceição o de menor incidência.

Para o ano de 2014, verifica-se que o município de maior incidência foi o de Mateiros com 129 pontos e o de menor, o município de Rio da Conceição com 16 pontos. No ano de 2018, os dados demonstram que o município de Mateiros se mantém com o maior número de focos de calor com 146 pontos e o município de Formosa do Rio Preto com a menor quantidade, contabilizando 5 focos, apenas.

Por fim, para o ano de 2022, em que o intervalo considerado para obtenção dos dados foi de 01/01/2022 a 04/08/2022, é possível notar que já ocorreu um avanço expressivo neste período em comparação com a quantidade de focos de calor dos anos anteriores, em que foram considerados dados dos anos completos (2010, 2014 e 2018). Até a data retromencionada, o município de Mateiros figura como o de maior quantidade de focos de calor com 173 pontos, se contrapondo ao município de Rio da Conceição como de menor número, com 5 pontos.

O Gráfico 5 e a Tabela 7 realçam os pontos de focos de calor distribuídos mensalmente no decorrer dos anos em análise.

Gráfico 5 – Série temporal mensal dos pontos de focos de calor, 01/01/2010 a 04/08/2022

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 7 – Série temporal mensal dos pontos de focos de calor, 01/01/2010 a 04/08/2022

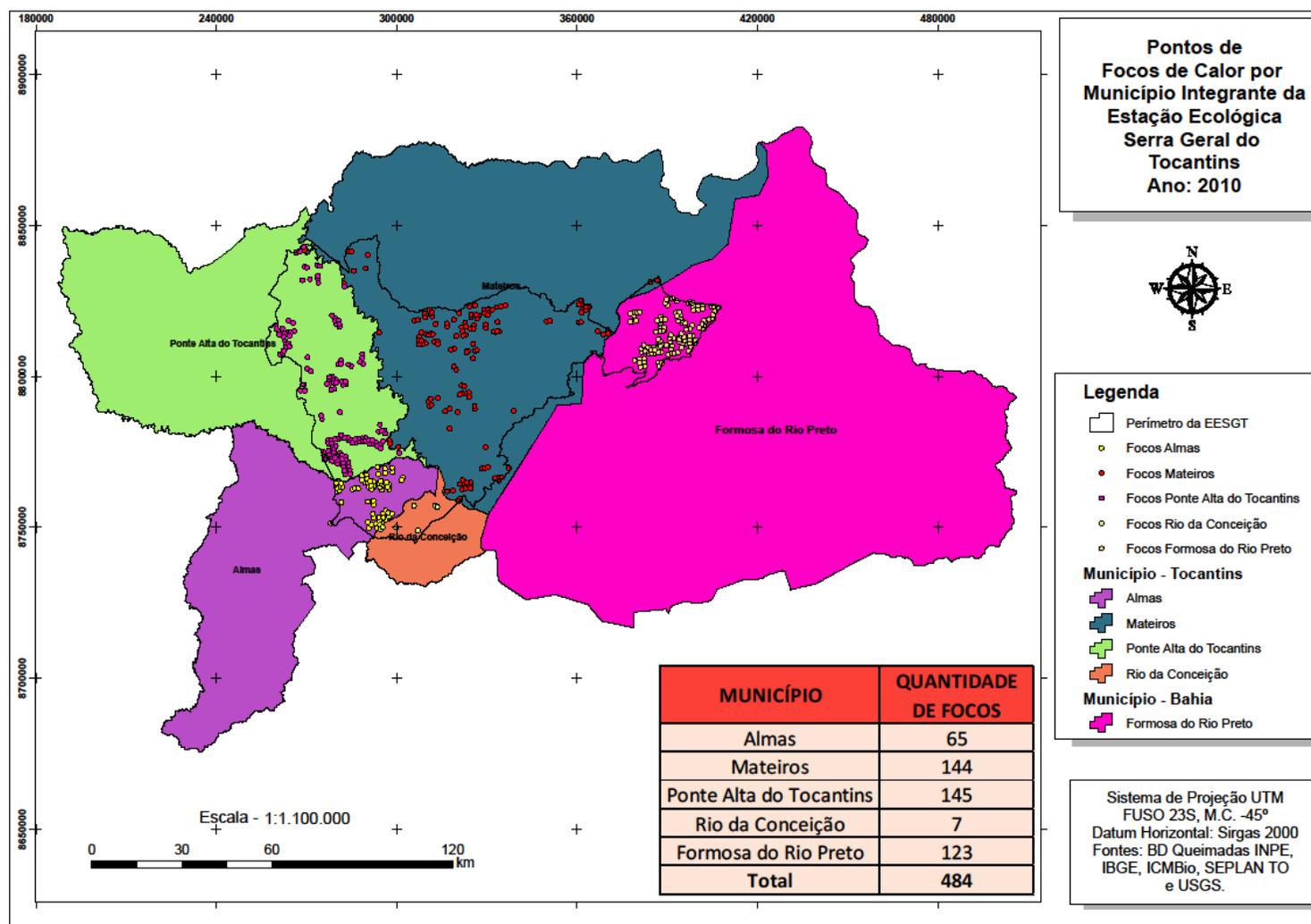
| ANO | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | TOTAL |
|------------------|-----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|-------------|
| 2010 | 9 | 1 | 0 | 25 | 13 | 56 | 46 | 59 | 252 | 22 | 1 | 0 | 484 |
| 2014 | 0 | 4 | 3 | 5 | 13 | 32 | 36 | 97 | 34 | 19 | 6 | 7 | 256 |
| 2018 | 2 | 2 | 0 | 14 | 46 | 51 | 87 | 16 | 22 | 19 | 0 | 3 | 262 |
| 2022 | 2 | 2 | 4 | 7 | 41 | 223 | 65 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 355 |
| Acumulado | 13 | 9 | 7 | 51 | 113 | 362 | 234 | 183 | 308 | 60 | 7 | 10 | 1357 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Como é possível extrair do Gráfico 5 e da Tabela 7, os meses que apresentam maior número acumulado de focos de calor são, realmente, os meses do período de seca, junho, julho, agosto e setembro. O mês de junho com o registro acumulado de 362 focos, seguido pelos meses de setembro com 308, julho 234 e agosto com 183 focos.

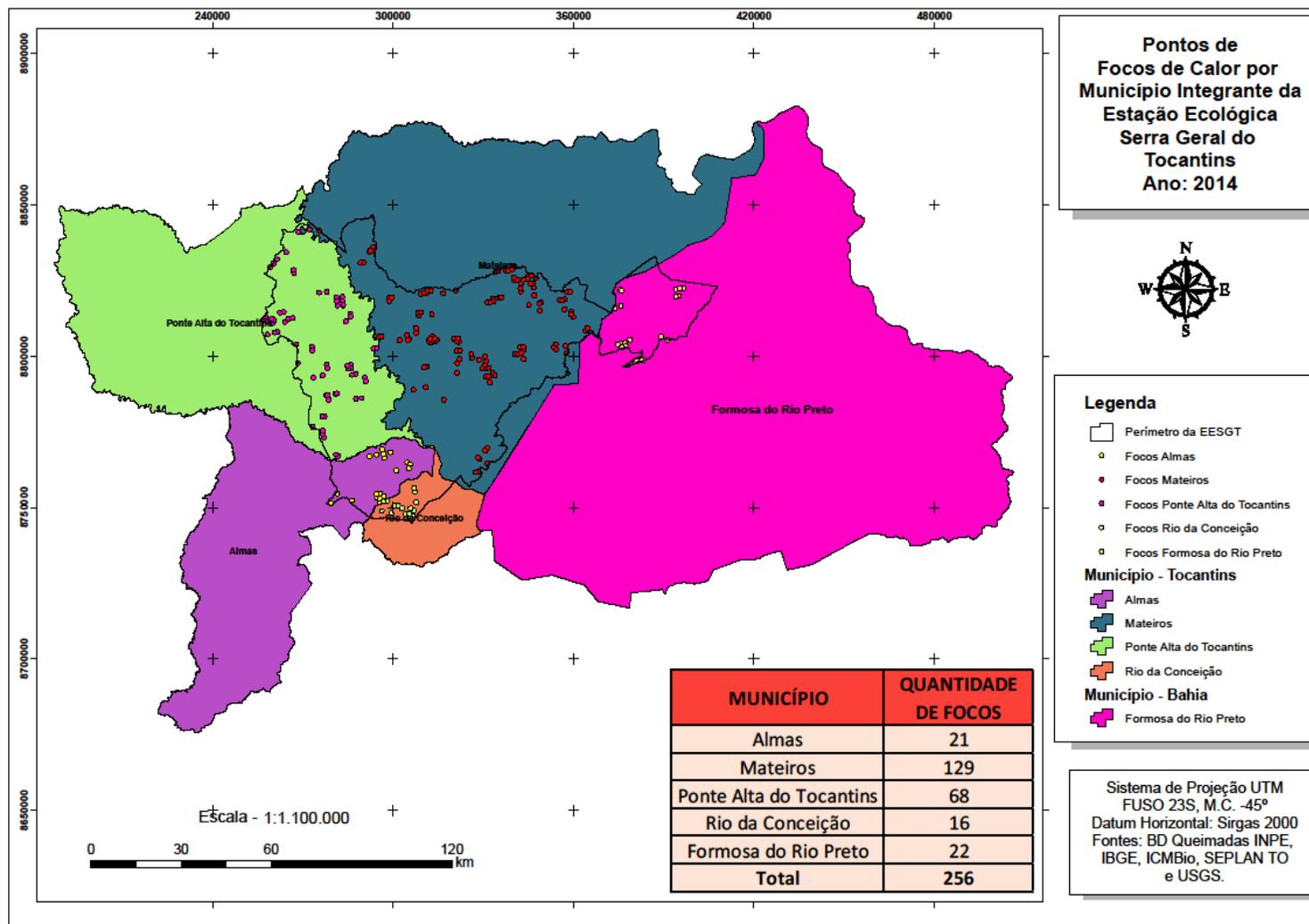
É possível analisar que o período que precede as primeiras discussões sobre o MIF, o ano de 2010 tem, até então, o maior número de focos de calor. Há uma queda do número de focos nos anos de 2014 e 2018, o que se pode supor que é devido ao período de implantação das políticas de adaptação da forma de gestão do fogo através do MIF. Entretanto, também é possível extrair que até o início do mês de agosto do ano de 2022 ocorre um crescimento expressivo na quantidade de registros de focos de calor. As Figuras 5, 6, 7 e 8, denominadas de Mapa dos Pontos de Focos de Calor por Município, para os anos de 2010, 2014, 2018 e 2022 mostram a distribuição espacial desses pontos.

Figura 5 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2010



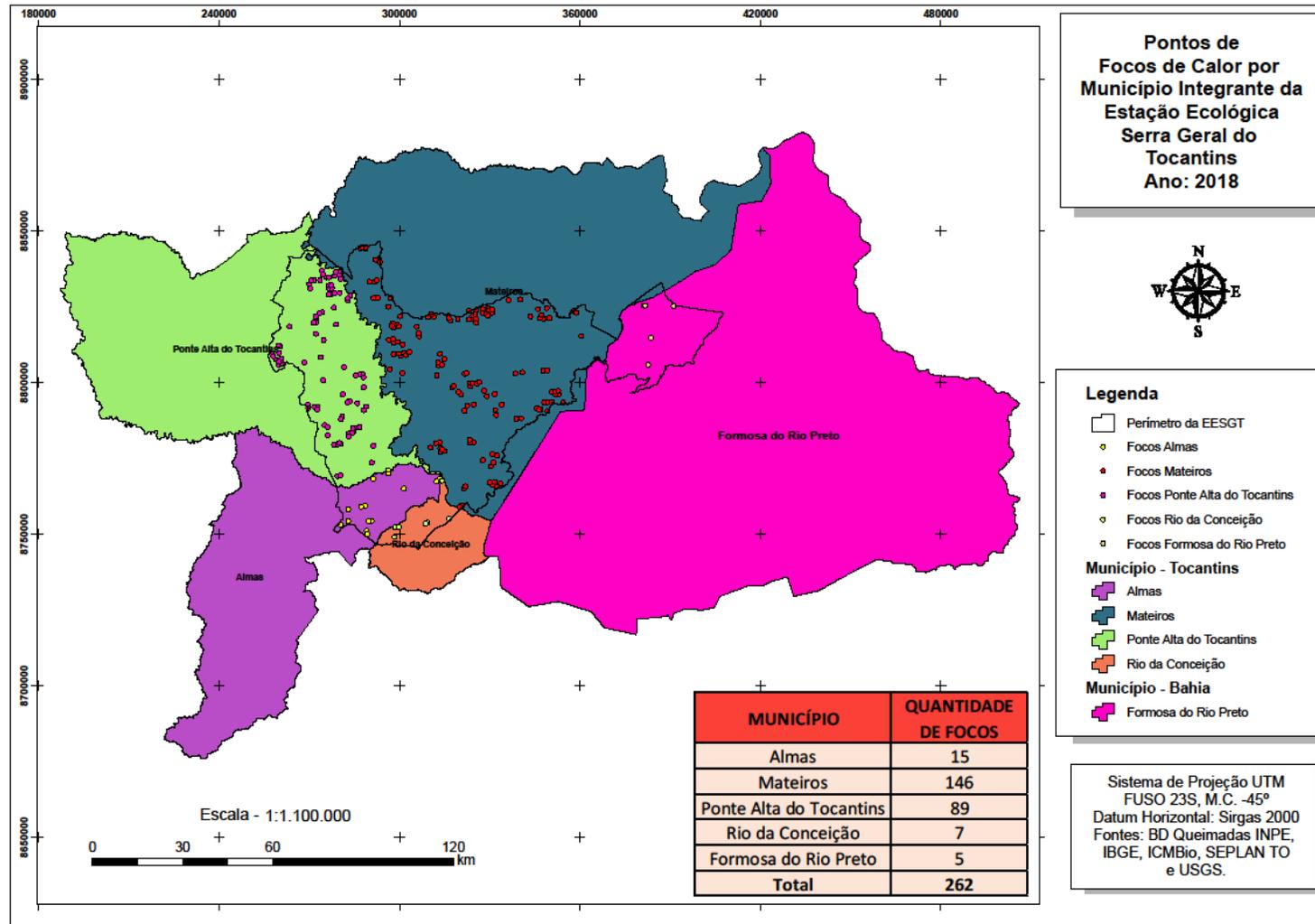
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 6 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2014



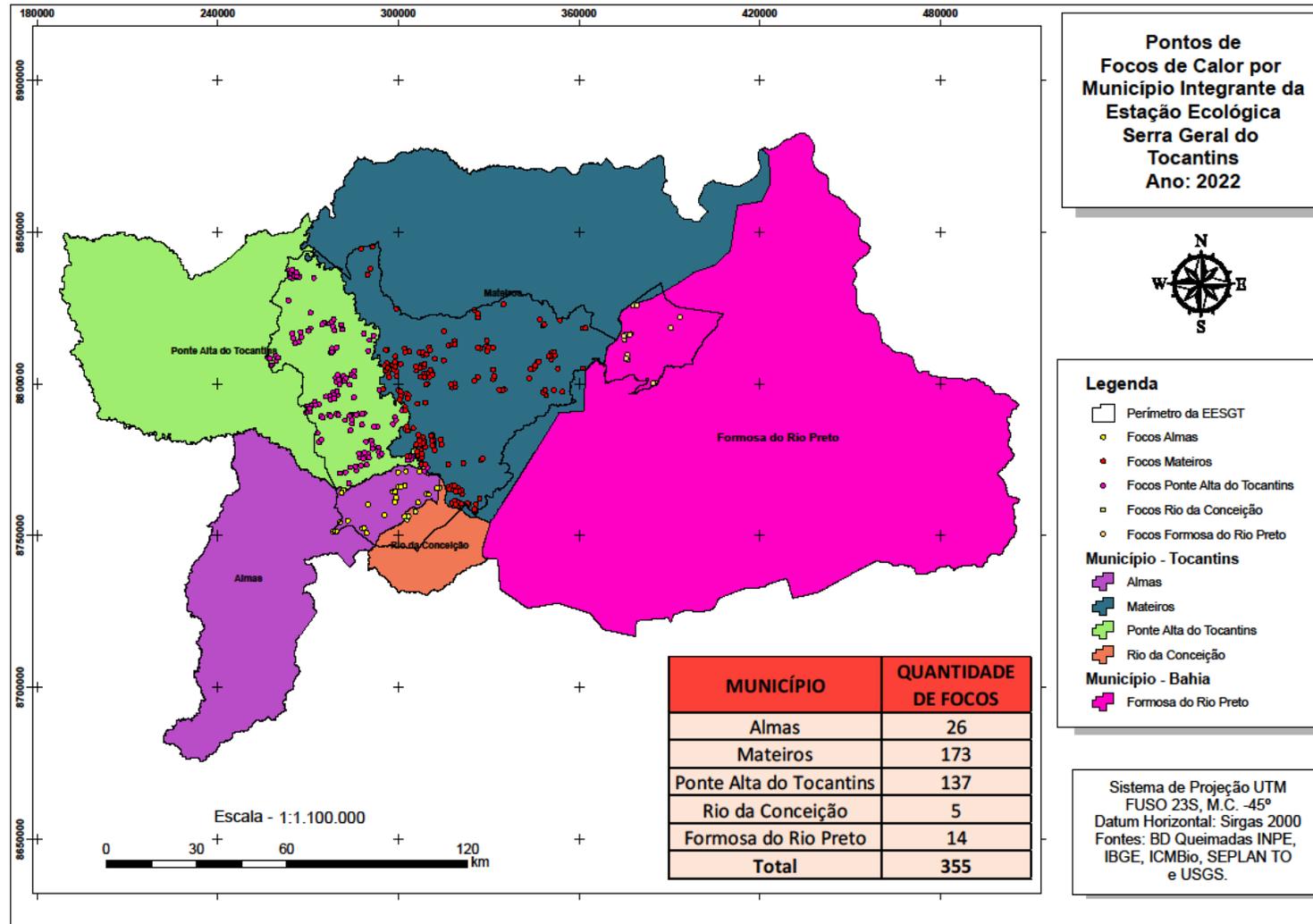
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 7 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2018



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 8 – Mapa dos pontos de focos de calor de cada município integrante da EESGT – Ano 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Através dos mapas de densidade de *kernel* é possível verificar a distribuição desses pontos de focos de calor que foram interpolados para gerar uma visualização classificada em 5 classes nominais para a ocorrência desses focos: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Para o ano de 2010 (Figura 9) é possível visualizar uma maior ocorrência de focos de baixa, média e alta densidades. Sendo, que os de densidade muito alta ficaram concentrados na parte norte, sul, sudoeste e leste do mapa.

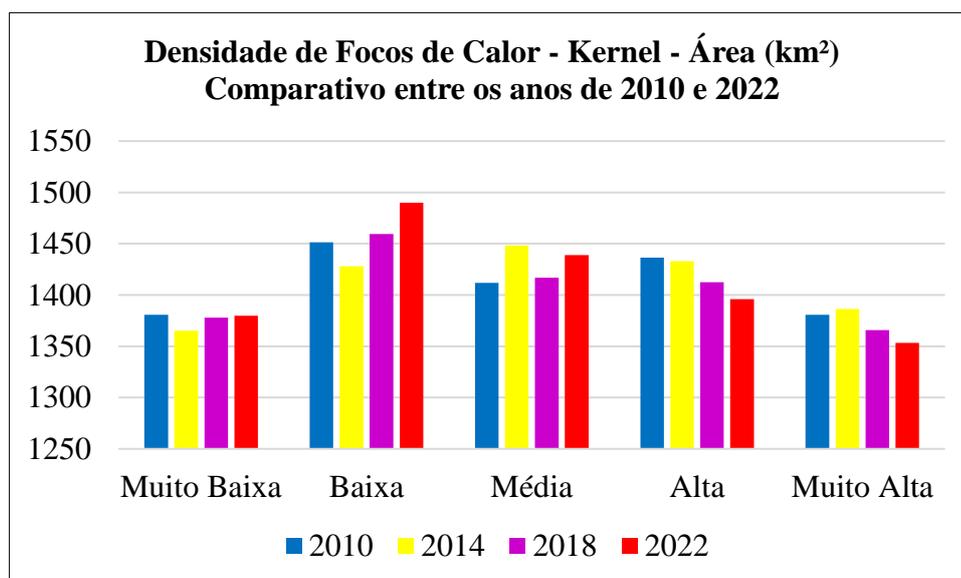
No ano de 2014 (Figura 10) há um crescimento dos focos de calor de densidade muito alta e uma distribuição mais equiparada dos focos de baixa, média e alta densidades. Sendo que a concentração maior dos focos de alta e muita alta densidades estão nas regiões norte, sul, oeste e parte da região leste como pode ser observado na representação do mapa e o respectivo gráfico contido no mesmo.

Em 2018 (Figura 11) há o aumento da ocorrência dos focos de calor de baixa densidade, uma distribuição um pouco mais homogênea dos focos de média e alta densidades e uma diminuição dos focos de muita alta densidade em relação ao ano de análise anterior.

Para o ano de 2022 (Figura 12) é possível interpretar que há novamente um aumento dos focos de muito baixa, baixa e média densidades que se contrapõem a uma pequena diminuição dos focos de calor de alta e muito alta densidades.

O Gráfico 6 e a Tabela 8 ilustram o comparativo anual dos mapas de densidades por área em km² gerados para os anos do interstício em análise.

Gráfico 6 – Série temporal anual dos mapas de densidades de *kernel* por área em km²



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 8 – Série temporal anual dos mapas de densidades de *kernel* por área em km²

| Focos de Calor - Densidade de Kernel - Série Temporal (Anual) | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| Descrição | 2010 | | 2014 | | 2018 | | 2022 | |
| | Área (km ²) | Percentual |
| Muito Baixa | 1352,5241 | 19% | 1365,2816 | 19% | 1377,7729 | 19% | 1379,7827 | 20% |
| Baixa | 1451,3981 | 21% | 1428,0664 | 20% | 1459,3025 | 21% | 1489,7860 | 21% |
| Média | 1411,9558 | 20% | 1448,2638 | 20% | 1416,7737 | 20% | 1438,9879 | 20% |
| Alta | 1436,3669 | 20% | 1433,0147 | 20% | 1412,4869 | 20% | 1396,0668 | 20% |
| Muito Alta | 1380,5469 | 20% | 1386,3244 | 20% | 1365,8090 | 19% | 1353,2021 | 19% |

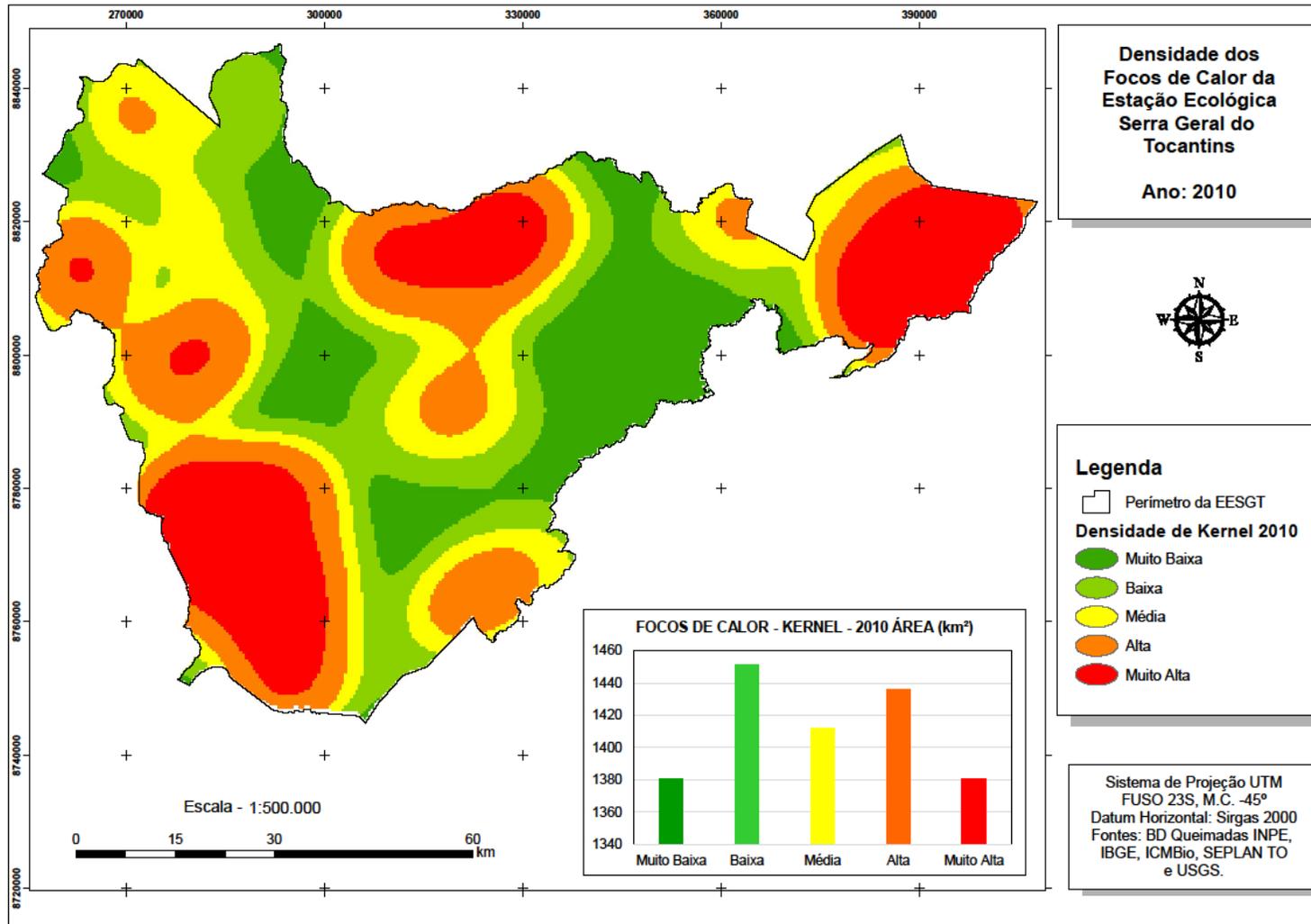
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No Gráfico 6 e na Tabela 8 percebe-se que entre o ano de 2010 e 2014 ocorreu uma queda nos focos de muito baixa e baixa densidades, retornando a crescer nos anos de 2018 e 2022.

Ocorreu uma queda entre 2010, 2014 e 2018 das áreas de focos classificadas como média e alta densidades, com uma crescente para o ano de 2022, novamente. Acerca dos pontos de muito alta densidade, aumentou do ano de 2010 para o ano de 2014, e logo em seguida é verificada uma queda desse valor nos anos de 2018 e 2022. Ressalta-se que o ano de 2022 não teve seus dados anuais completos analisados, mas apenas até o dia 04 de agosto do corrente ano, o que se pode inferir que nesse período de seca entre agosto e setembro esses focos podem aumentar novamente, batendo recorde de ocorrência entre os anos que foram comparados neste trabalho.

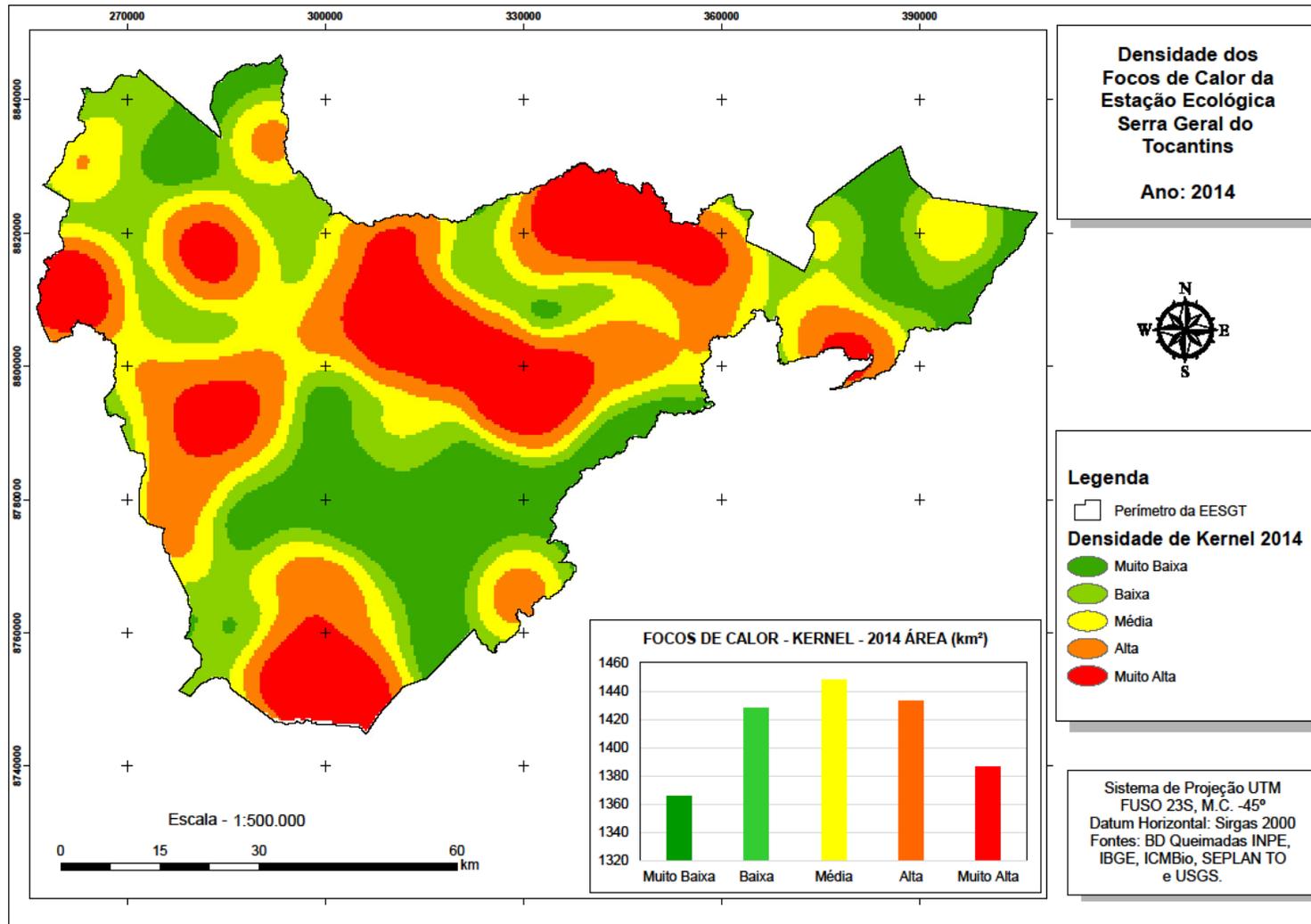
Então, ao fazer uma abordagem sobre as áreas, o ano de 2014 apresenta o menor número de focos classificados como muito baixa e baixa densidades correspondendo a 1.365,2816km² e 1.428,0664km², respectivamente; o ano de 2010 tem o menor valor de área incidente de focos de média densidade com 1.411,9558km²; e o ano de 2022 apresenta os menores valores para os focos de alta e muito alta densidades até então, 1.396,0668km² e 1.353,2021km², respectivamente, com a mesma ressalva de que isso pode ter sido pelo período de dados disponíveis para o ano em questão.

Figura 9 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2010



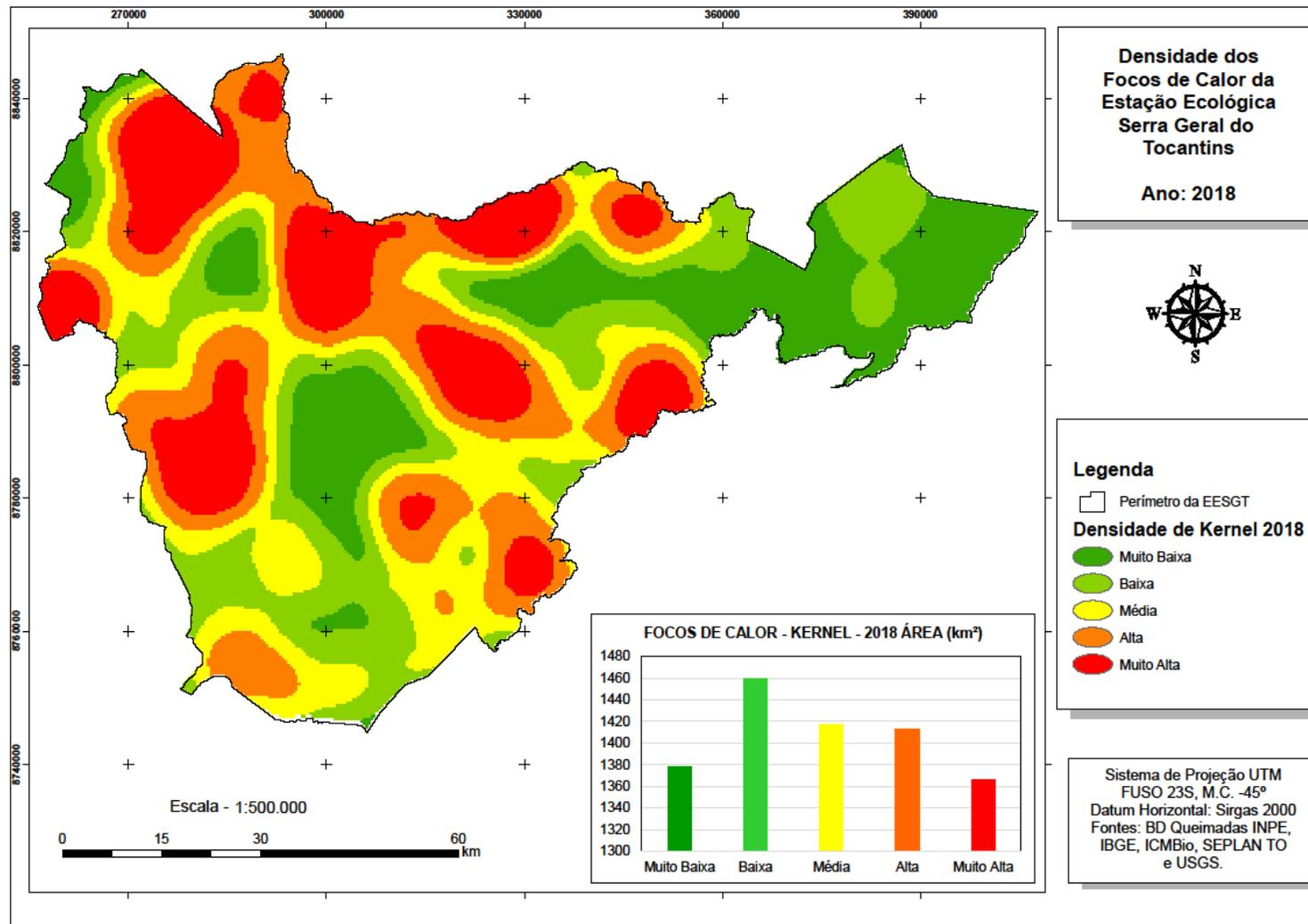
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 10 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2014



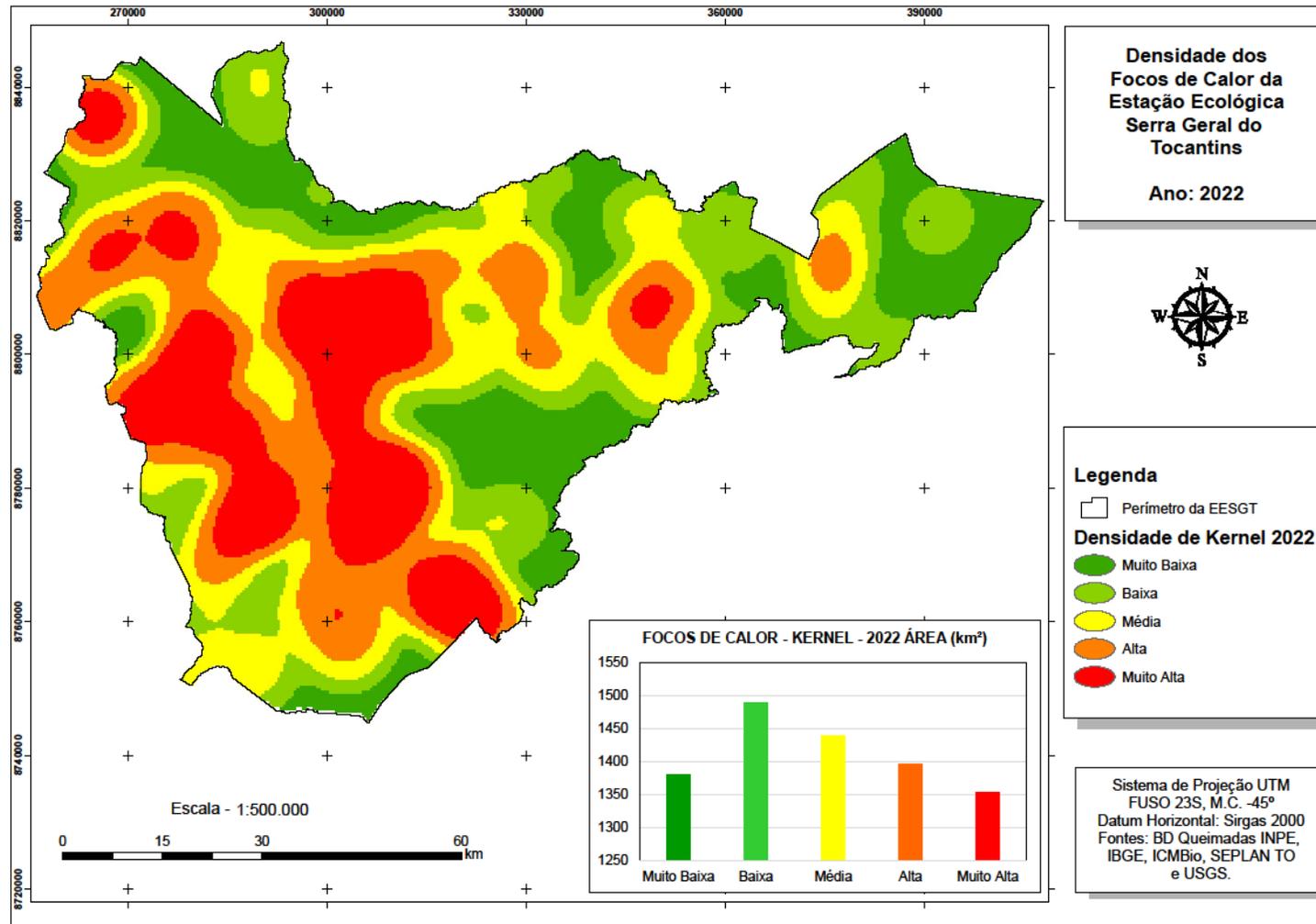
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 11 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2018



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 12 – Mapa de densidade dos focos de calor da EESGT – Ano 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.3 Mapeamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Através do NDVI pode-se extrair valores numéricos referentes às respostas espectrais dos pixels para as áreas entre -0,74 e 0,41 μm para o ano de 2010 (Figura 13); -0,12 e 0,49 μm para o ano de 2014 (Figura 14); -0,12 e 0,49 μm para o ano de 2018 (Figura 15); e -0,13 e 0,48 μm para o ano de 2022 (Figura 16).

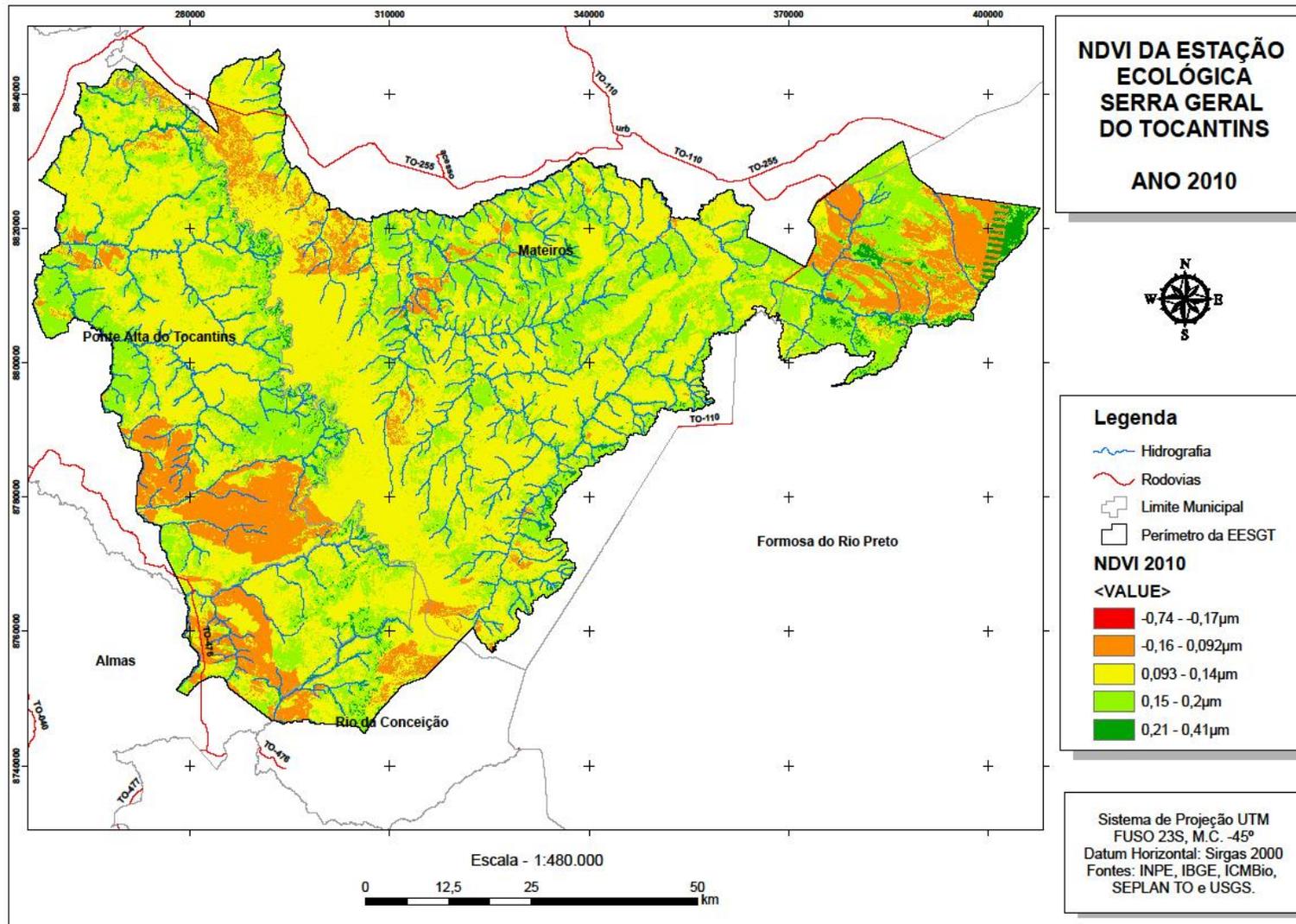
Para o ano de 2010 (Figura 13), as áreas com baixo vigor vegetativo apresentaram valores de 0,15 a 0,2 μm , e àquelas com um grau de vigor que representa uma vegetação sadia constatou-se valores entre 0,21 e 0,41 μm . Tendo também a ação do fogo apresentado valores entre -0,74 e -0,092 μm .

O ano de 2014 (Figura 14) apresentou valores entre 0,22 e 0,28 μm para baixo vigor vegetativo, e 0,29 a 0,49 μm para áreas com vegetações sadias. E valores entre -0,12 e 0,17 μm para a ação do fogo.

Do ano de 2018 (Figura 15) pode-se extrair valores que variam de 0,22 a 0,27 μm para menores densidades de vegetação, e 0,28 a 0,49 μm para áreas com vigor vegetativo mais acentuado. E valores entre -0,12 e 0,18 μm com indicativos de ação do fogo. Os locais com maiores densidades de cobertura vegetal se estabelecem nos setores norte e nordeste do mapa. Ocorre uma redução das áreas com valores negativos e menores que representam possíveis áreas que passaram pela ação do fogo e um aumento mais significativo em relação aos anos anteriores da cobertura vegetal, em principalmente nas porções norte, sudeste e nordeste da área.

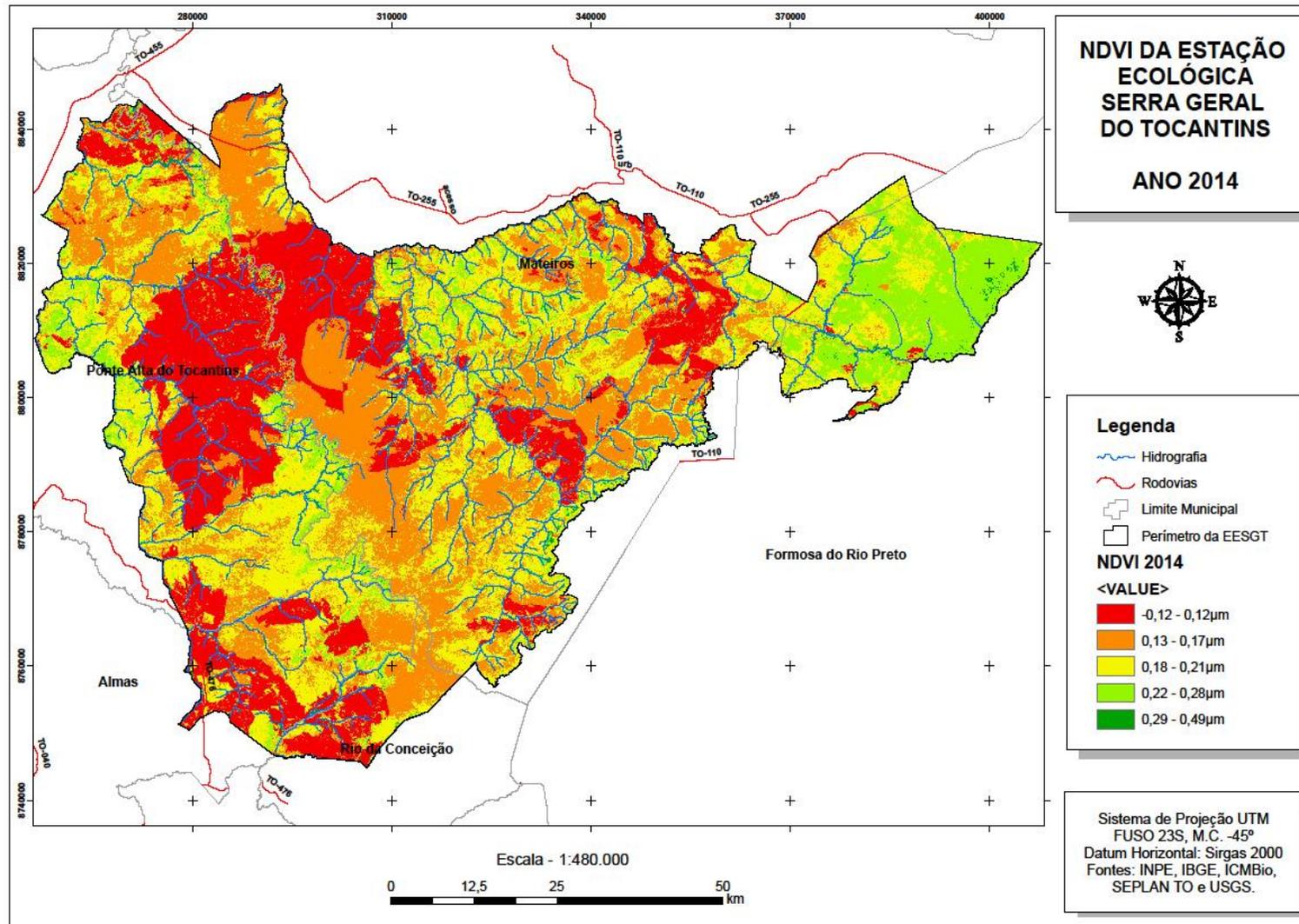
Em relação ao ano de 2022 (Figura 16), a vegetação sadia apresenta os valores entre 0,28 a 0,48 μm , e a área com baixo vigor vegetativo com valores que variam de 0,22 a 0,27 μm . Ainda, pela análise observa-se que, apresentou-se valores entre -0,13 e 0,17 μm para área possivelmente queimadas. Comparado ao ano de 2018, este ano demonstra que houve uma maior ação do fogo no sentido noroeste-sudeste, e os setores leste e noroeste. Há uma distribuição maior entre as áreas com índices menores, assim como também a redução da classe que significa maior severidade da ação do fogo, se restringindo as regiões leste, centro e sudeste da área.

Figura 13 – Mapa de NDVI da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2010



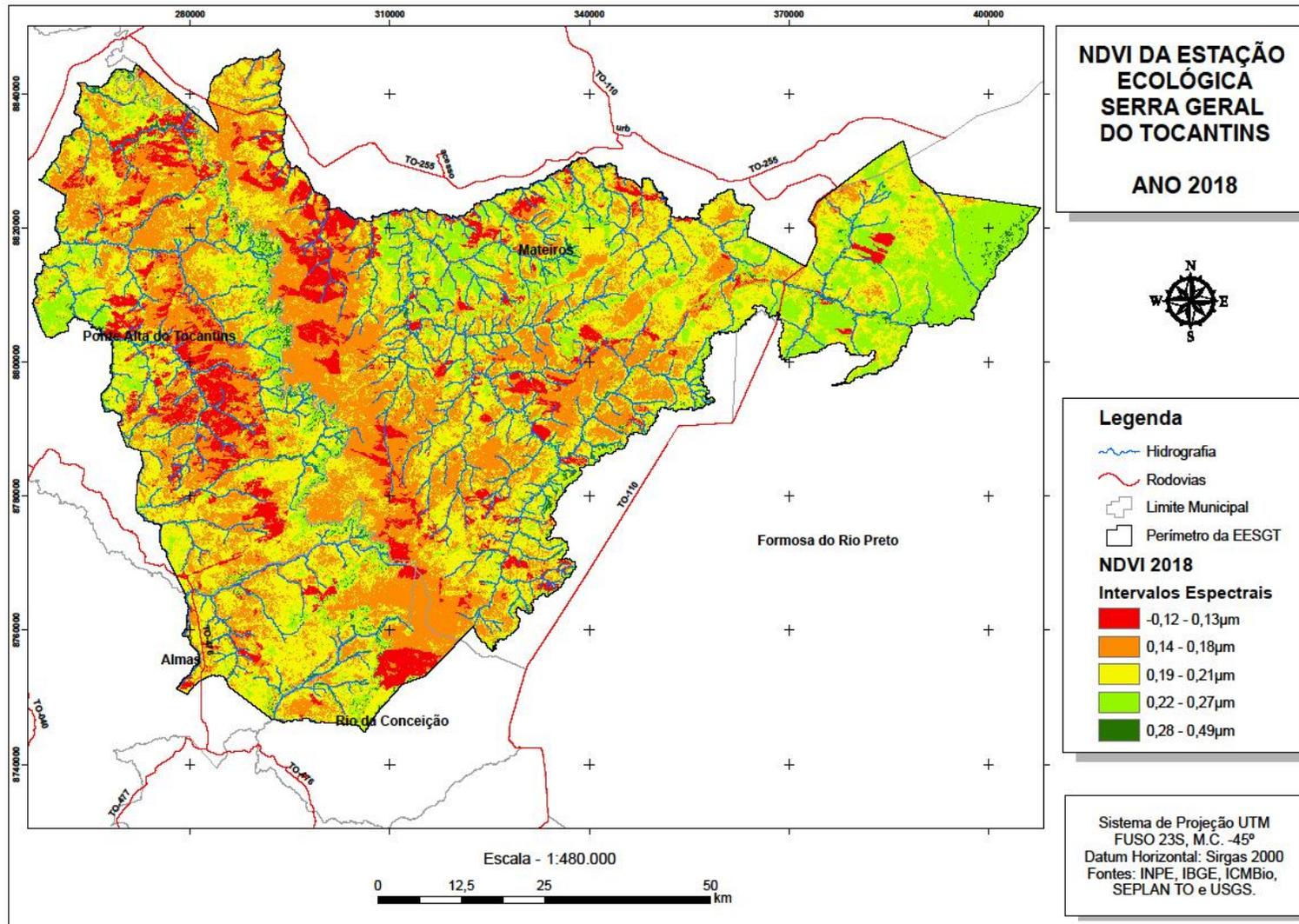
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 14 – Mapa de NDVI da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2014



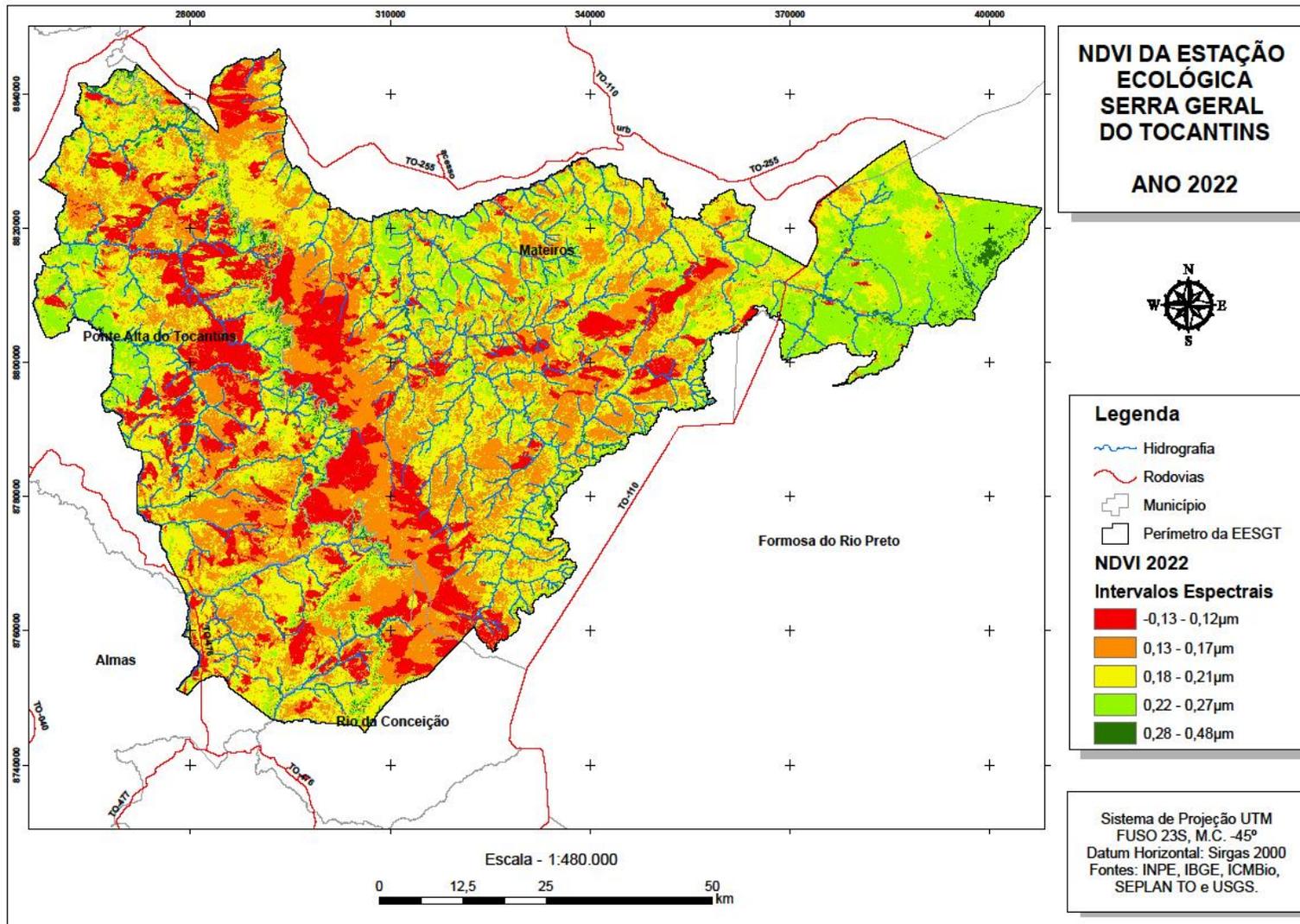
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 15 – Mapa de NDVI da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2018



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 16 – Mapa de NDVI da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.4 Mapeamento de cicatrizes de fogo

Conforme os mapas de cicatrizes de fogo e a Tabela 9, o ano de 2010 (Figura 17) tem uma predominância do fogo precoce atingindo cerca de 3.491,49km² (49,37%) da área e também um valor considerável do fogo tardio, 1.216,53km² (17,20%) da área. Sendo assim, o ano de 2010 acumula mais da metade da área da EESGT queimada, cerca de 66,57%.

Tabela 9 – Áreas dos mapas de cicatrizes de fogo

| Tabela de Áreas - Cicatrizes de Fogo | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Descrição | 2010 | | 2014 | | 2018 | | 2022 | |
| | Área (km ²) | Percentual da Área da EESGT | Área (km ²) | Percentual da Área da EESGT | Área (km ²) | Percentual da Área da EESGT | Área (km ²) | Percentual da Área da EESGT |
| Fogo Tardio | 1.216,53 | 17,20% | 1.565,15 | 22,13% | 723,52 | 10,23% | 1.057,62 | 14,96% |
| Fogo Precoce | 3.491,49 | 49,37% | 3.875,05 | 54,80% | 4.312,64 | 60,99% | 3.981,20 | 56,30% |
| Vegetação | 2.363,37 | 33,42% | 1.631,19 | 23,07% | 2.035,23 | 28,78% | 2.032,57 | 28,74% |

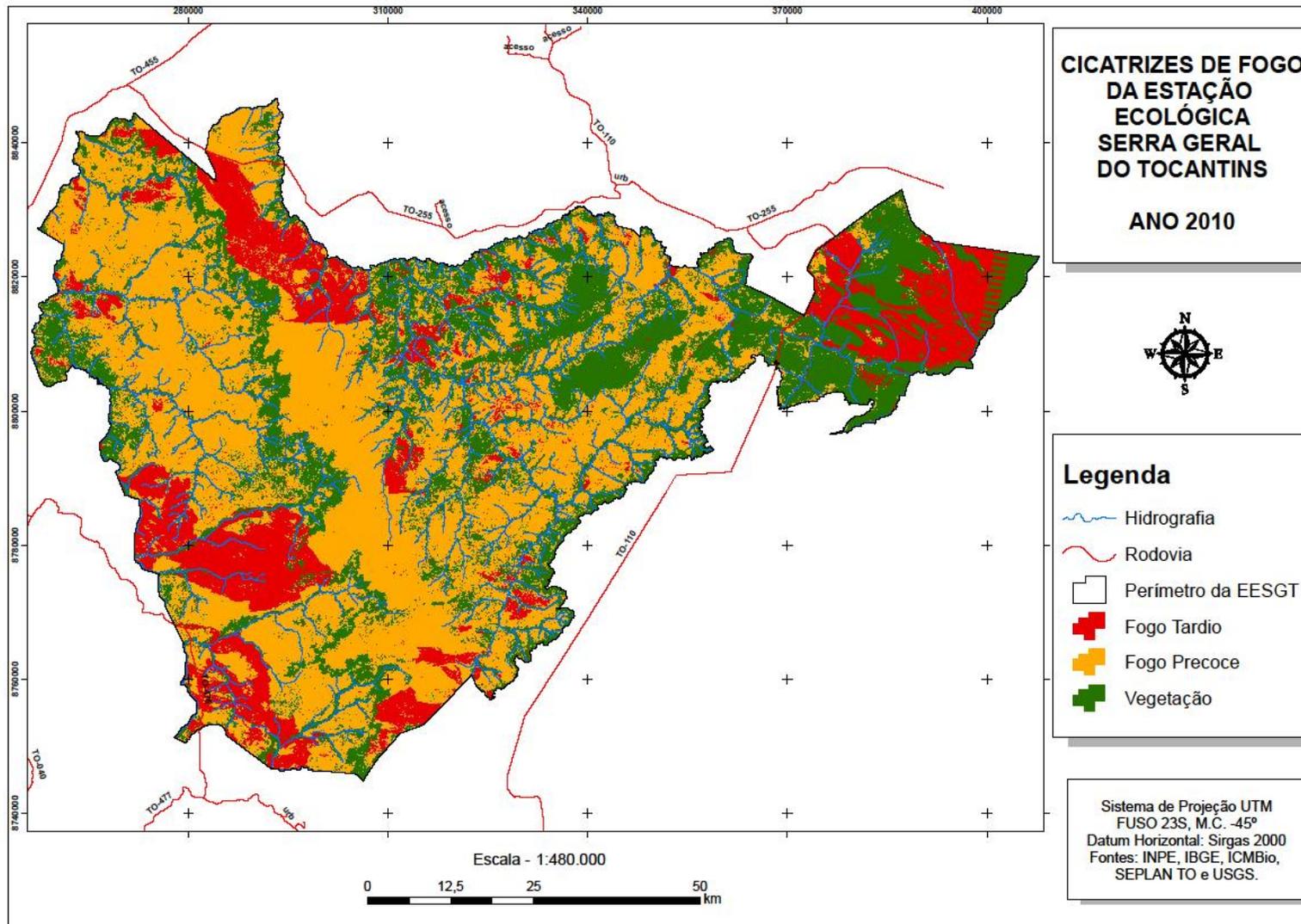
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O ano de 2014 (Figura 18) apresenta uma alta nos valores de fogo tardio, 1.565,15km² (22,13%) da área e, também, do fogo precoce com uma representatividade de 3.875,05km² (54,80%) da área, totalizando assim um percentual de 76,93% da área total da EESGT que passaram pela ação do fogo tardio ou precoce.

Já o ano de 2018 (Figura 19) representa uma queda nos valores de áreas que foram atingidas pela ação do fogo tardio, sendo 723,52km² (10,23%) da área, e uma elevação nos valores do fogo precoce, correspondendo a cerca de 4.312,64km² (60,99%) da área. Esse aumento do índice do fogo precoce e, conseqüentemente, a diminuição do percentual de fogo tardio pode estar relacionada às ações do primeiro Plano de Manejo Integrado do Fogo que foi implementado na EESGT no ano de 2014.

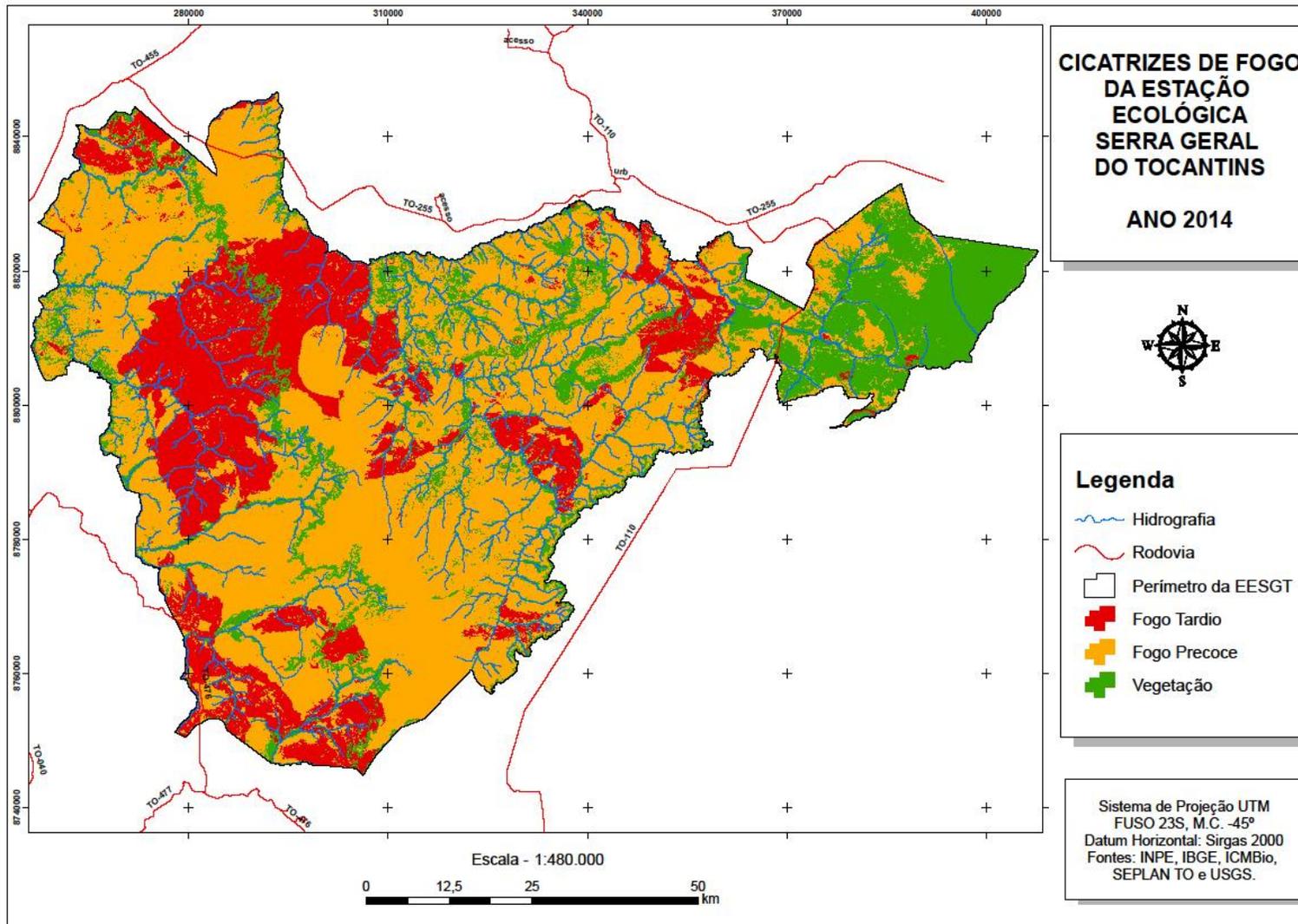
O ano de 2022 (Figura 20) demonstra um novo aumento nas cicatrizes pertinentes a variável de fogo tardio, correspondendo a cerca de 1.057,62km² (14,96%) e uma queda da ação do fogo precoce, apresentando o valor de 3.981,20km² (56,30%) da área. Essa variação pode estar relacionada às faltas de investimentos que a unidade gestora dessa Unidade de Conservação passou pelos últimos anos podendo ter minimizado as ações previstas no Plano de Manejo Integrado.

Figura 17 – Mapa de Cicatrizes de Fogo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2010



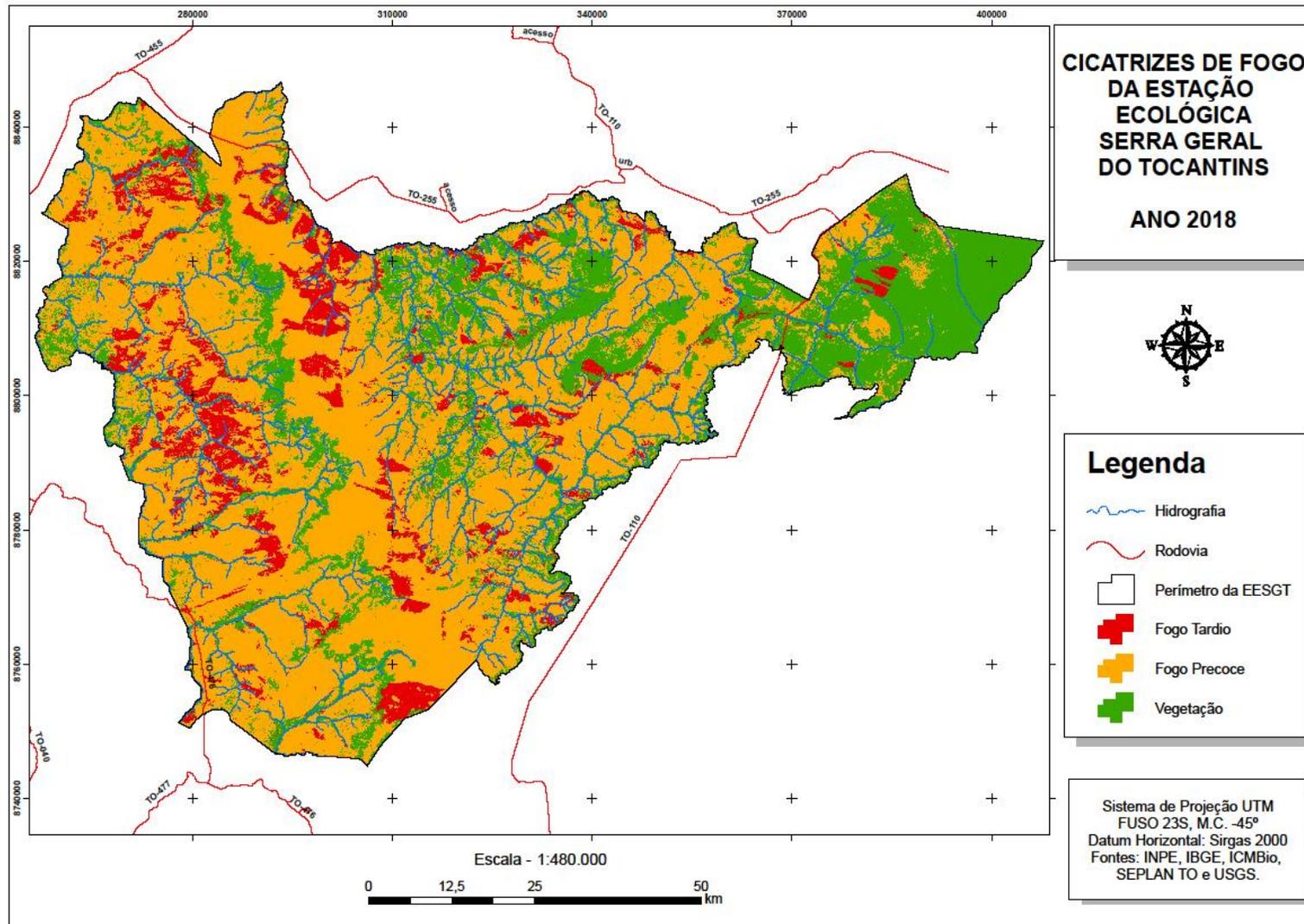
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18 – Mapa de Cicatrizes de Fogo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2014



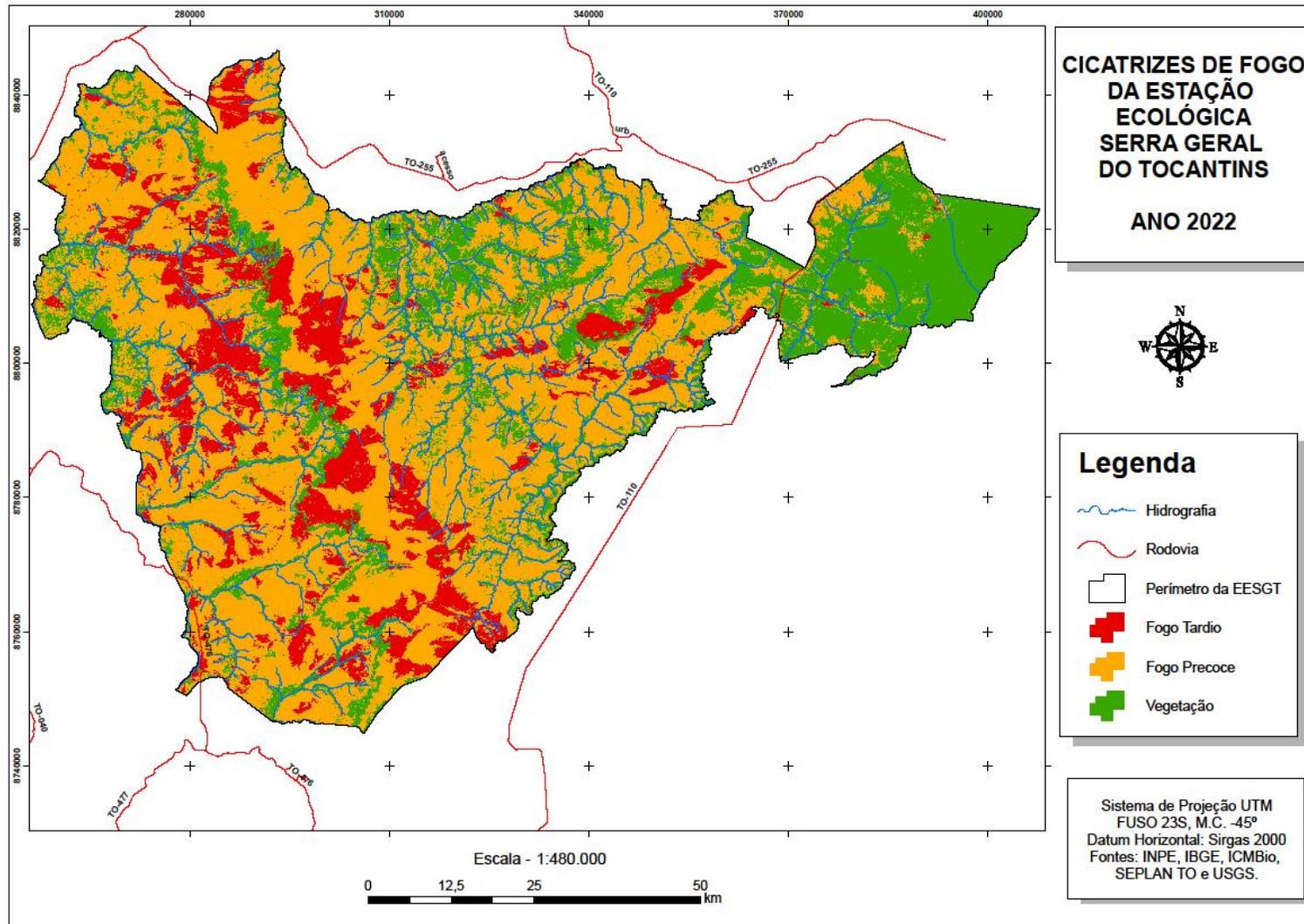
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 19 – Mapa de Cicatrizes de Fogo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2018



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 20 – Mapa de Cicatrizes de Fogo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Ano 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.5 Aplicação do Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ)

A partir dos mapas de cicatrizes de fogo foi gerado o mapa contendo o Índice de Recorrência de Queimadas para caracterizar as áreas onde passaram pela ação do fogo uma ou mais vezes no interstício analisado na pesquisa, entre os anos de 2010 e 2022.

De acordo com a Tabela 10, observa-se que a área de 1.478,68km² (20,91%) não há uma recorrência no período analisado, onde concentra-se uma densidade de vegetação maior. Cerca de 2.835km² (40,09%) da área da EESGT passou pela queima uma única vez, 964,14km² (13,63%) da área foi suscetível à ação do fogo em pelo menos dois dos anos analisados, 1.021,54km² (14,45%) da área sofreu os danos da ação do fogo por pelo menos três dos anos da análise temporal realizada, e 772,03km² (10,92%) da área por quatro dos anos em epígrafe.

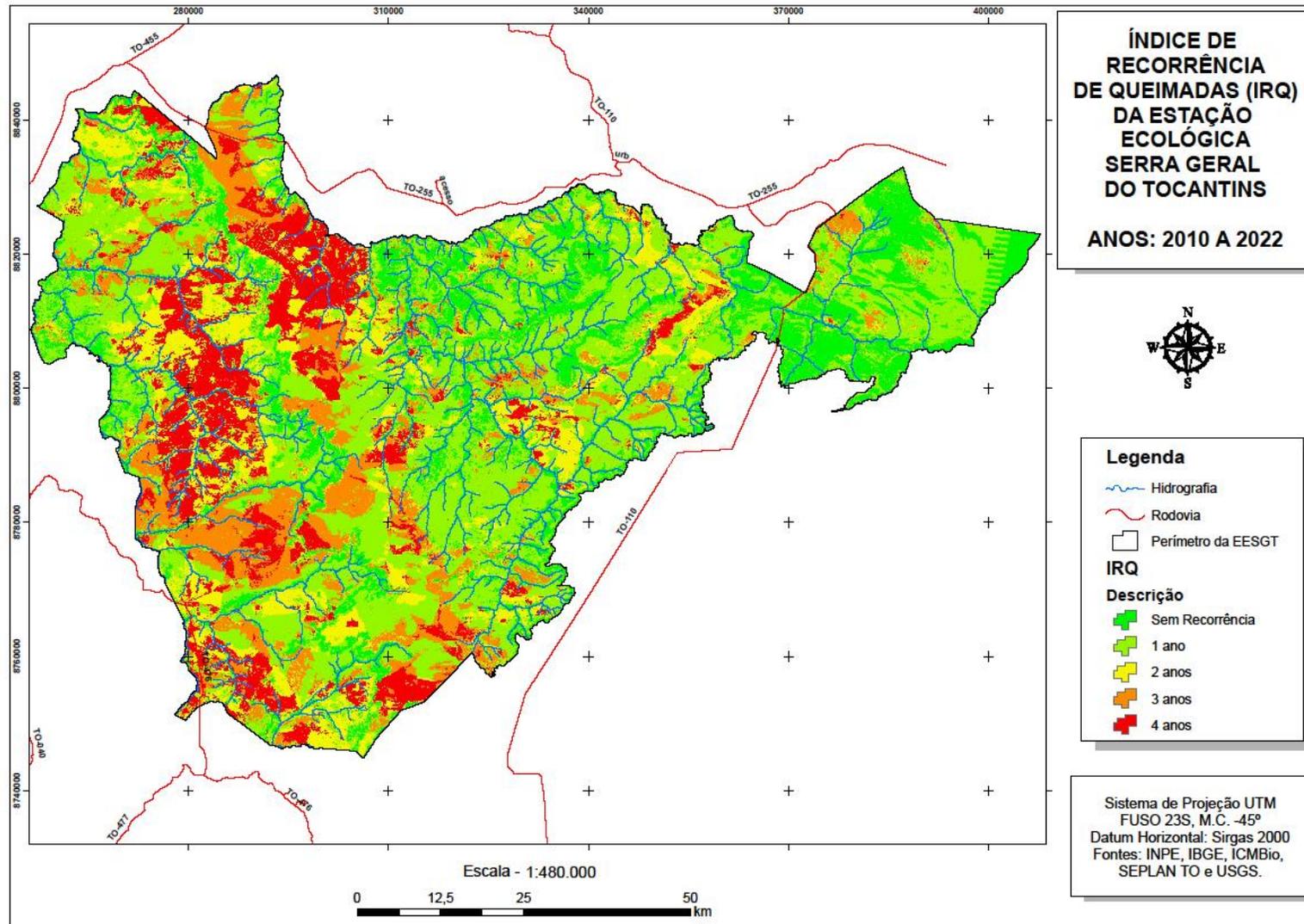
A constatação visual por ser observada no Mapa de Índice de Recorrência de Queimadas (Figura 21), onde as áreas com maiores recorrências se tornam mais importantes para análises do que os valores das áreas maiores, considerando que refletem os locais que ocorreram queimas anualmente em todos os anos de análise, ou seja, de forma continuada, resultando num impacto ambiental maior quando relacionado à degradação e conservação dessa área.

Tabela 10 – Áreas do mapa de Índice de Recorrência de Queimadas

| Áreas - Índice de Recorrência de Queimadas (IRQ) | | |
|---|------------------------------|------------------------------------|
| Descrição | Área (km²) | Percentual da Área da EESGT |
| Sem Recorrência | 1.478,68 | 20,91% |
| 1 ano | 2.835,00 | 40,09% |
| 2 anos | 964,14 | 13,63% |
| 3 anos | 1.021,54 | 14,45% |
| 4 anos | 772,03 | 10,92% |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 21 – Mapa de Índice de Recorrência de Queimadas da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins – Anos: 2010 a 2022



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.6 Levantamento fotográfico do trabalho de campo

Tabela 11 – Dados de campo

| Ponto | Coordenada E – UTM 23S | Coordenada N – UTM 23S | Período de Possíveis Ações do MIF | Foto (Numeração da Figura) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 01 | 288551 | 8749894 | 2021 | 22 |
| 02 | 288272 | 8751064 | 06/2022 | 23 |
| 03 | 294065 | 8758524 | | 24 |
| 04 | 299475 | 8756818 | 04 a 06/2022 | 25 |
| 05 | 301017 | 8756220 | 05/2022 | 26 |
| 06 | 301733 | 8757806 | 2019 | 27 |
| 07 | 300743 | 8759926 | --- | 28 |
| 08 | 298353 | 8762232 | --- | 29 |
| 09 | 303684 | 8769006 | --- | 30 |
| 10 | 304071 | 8769392 | 06/2022 | 31 |
| 11 | 308252 | 8771174 | 06/2022 (lado esquerdo - figura 32); 2021 (lado direito – figura33) | 32 e 33 |
| 12 | 310362 | 8770524 | 06/2022 | 34 |
| 13 | 310056 | 8772290 | | 35 |
| 14 | 310203 | 8781750 | 2019 | 36 |
| 15 | 309652 | 8786422 | 2020 (vegetação de coloração verde escuro); 2021 (vegetação de coloração verde claro) | 37 |
| 16 | 302668 | 8798384 | 2021 | 38 |
| 17 | 300631 | 8798198 | --- | 39 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 22 – Área que passou por MIF no ano de 2021, próximo ao córrego Vai-Quem-Tem, ou, Dedo Cortado que deságua no Rio Peixe. Limite sul da EESGT. A área ainda não possui um padrão de queima por causa do combustível que é do tipo *Cyperus diffusus* (capim-agreste)



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 23 – Área que passou por MIF em junho de 2022, fica na borda da estrada e a queima é realizada por volta das 17h devido à ausência de vento



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 24 – Área que passou por MIF há aproximadamente três meses anterior a data do trabalho de campo (junho de 2022). Por se tratar de uma área de vereda o MIF foi realizado na cabeceira do córrego da Matança como forma de prevenção para tentar evitar que terceiros atuassem fogo



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 25 – Área que passou por MIF em junho de 2022, fica na borda da Serra da Muriçoca. Área de Cerrado do tipo Campo Sujo nas margens do Rio Peixinho



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 26 – Área de Campo Limpo de vereda que passou por um incêndio (fogo subterrâneo) em maio de 2022



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 27 – Área de vereda na cabeceira do córrego do Puçá que passou por MIF em 2019



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 28 – Área de estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada que passou por incêndio severo na borda da Serra da Muriçoca no dia 09 de agosto de 2022



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 29 – Área da estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada que passou por incêndio severo na curva da Serra Geral. A escala do fogo favorece a alteração do relevo causando exposição das rochas



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 30 – Área de Cerrado do tipo *Stricto Sensu* que passou pela continuidade do incêndio ocorrido em agosto de 2022, demonstra fogo em vegetação mais densa, de porte arbóreo quase devastada



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 31 – Área mifada no começo de junho de 2022, limítrofe a área incendiada em agosto de 2022



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 32 – Área mifada em junho de 2022 em seu estágio final (lado esquerdo da estrada central), sentido Serra da Muriçoca, na cabeceira do Rio Balsas. Por ser uma área de contato de períodos diferentes de MIF



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 33 – Área mifada no ano de 2021 (lado direito da estrada central), sentido Serra da Muriçoca, na cabeceira do Rio Balsas. Por ser uma área de contato de períodos diferentes de MIF



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 34 – MIF realizado em junho de 2022 em seu segundo estágio, vista do morro da Serra da Muriçoca, próximo ao Morro do Panela e à placa da EESGT e sua estrada central



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 35 – O MIF ocorreu em junho de 2022, sendo uma área de encontro do espaço mifado com área por incêndio menos severo



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 36 – MIF realizado há três anos do período da visita técnica (2019)



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 37 – Cabeceira da Lagoa Espreada (área úmida) objeto de MIF há aproximadamente dois anos (2020) onde a vegetação possui um verde mais escuro e um ano onde a vegetação tem coloração mais clara



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 38 – Área de cicatriz de fogo em direção ao Morro do Bigorna, de Cerrado do tipo Campo Limpo, na porção central da Estação, que passou por MIF no ano de 2021



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 39 – Morro do Fumo



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

Figura 40 – Encerramento do trabalho de campo com um dos responsáveis pelo trabalho de MIF, na sede da Coordenação Regional 5 do ICMBio no município de Rio da Conceição –

TO



Fonte: Produzida pelo autor em 24 de setembro de 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da ação do fogo no bioma Cerrado, especificamente em Unidades de Conservação da Natureza, pode ser tratado de maneira complexa por envolver questões internas de gestão e fatores externos vinculados às pressões antrópicas de interesses econômicos. O histórico da gestão do fogo na EESGT é similar ao de outras Unidades de Conservação no mundo que possuem ecossistemas propensos à passagem do fogo em países como Austrália, África e Estados Unidos, que tiveram a abordagem evoluída na construção de gestão pirofóbicas (fogo zero, ou, exclusão do fogo) para outras pirofílicas (manejo do fogo).

A Esec Serra Geral do Tocantins é uma das primeiras UCs do Brasil a transitar de forma documentada de um modelo de gestão arrolado a exclusão do fogo para um modelo de gestão sustentado pelo manejo do fogo ao permitir a possibilidade de uso do fogo em diversas áreas da UC em seu Plano de Manejo Integrado do Fogo para ações de proteção e de conservação da biodiversidade.

Diante dos resultados apresentados fica caracterizada a importância do Manejo Integrado do Fogo como forma de prevenção, proteção, sustentabilidade e de transformação da paisagem. Há que se destacar que a implementação de medidas como o MIF pode ter potencializado as políticas ambientais para a EESGT.

A pesquisa demonstra que no decorrer dos anos elencados para estudo há uma intensa ação do fogo na área desde o ano de 2010. O mapeamento de cicatrizes de fogo apresenta que em 2010 cerca de 17,20% da área teve passagem do fogo tardio, em 2014 esse percentual foi de 22,13% e a partir do ano de 2018 apresenta uma queda para 10,23%, e novamente começa a subir em 2022 com 14,96%. Sendo assim, o ano de 2018 que precede os primeiros trabalhos do MIF na EESGT, no ano de 2014, é o que retrata o melhor número sobre a ocorrência do fogo de maneira tardia. O que pode ser justificado justamente pelas medidas que foram implementadas através do MIF.

Tendo como base os mapas de focos de calor e de NDVI, pode-se extrair que o período seco é, realmente, o que mais demanda atenção por parte da gestão da Unidade de Conservação, apresentando números altos de focos de calor se comparado à outras épocas do ano, nos permitindo concluir que do ponto de vista operacional e de fortalecimento das políticas ambientais, é primordial a determinação de áreas e o auxílio para que ocorra a queima consciente no período que precede a seca, ou seja, a ação do fogo de forma antecipada e planejada considerando as características do regime de queima da UC.

Deve-se destacar que com as informações trazidas pelos mapas de cicatrizes de fogo e de NDVI é necessário acionar um alerta para a questão da cobertura da vegetação, entre o período analisado há um declínio do quantitativo da composição florestal, partindo de 33,42% no ano de 2010 para 28,74% da área no ano de 2022.

No âmbito da validação das técnicas de Sensoriamento Remoto como subsídio científico é evidente que as informações construídas e interpretadas através de dados orbitais e cartográficos são compatíveis com as observações realizadas no trabalho de campo, o que atesta a viabilidade e eficácia desses produtos gerados a partir dos dados mencionados. A utilização dos dados geoambientais permitem um melhor planejamento do momento que precede à realização do trabalho *in loco* e o aproveitamento de uma rede de informações que poderiam ser lançadas no esquecimento se não tivéssemos esses recursos computacionais. Portanto, os materiais construídos a partir das informações e dos dados geoespaciais foram significativos para as demonstrações matemática, visual e gráfica da pesquisa realizada.

Destarte, o Plano de Manejo Integrado do Fogo deve ser protagonista no controle das ações do fogo em Unidades de Conservação, pois, conforme o que se apresentou aqui, há uma evolução e amadurecimento de técnicas que permitem e fortalecem as políticas ambientais para as UCs. A aplicabilidade do MIF somada aos incentivos políticos-ambientais necessários à sua execução podem continuar demonstrando ser uma forma eficaz de gerir a ação do fogo e objeto potencial para a mitigação e recuperação de áreas potencialmente impactadas por queimadas e incêndios florestais, sejam eles criminosos ou não.

REFERÊNCIAS

- BARCELLOS, T. G. **Efeitos do fogo sobre a fauna e a flora do Cerrado**. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências da Saúde, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2001.
- BARRADAS, A. C. S. **A gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade em Unidades de Conservação, Escola Nacional de Botânica Tropical – ENBT, Rio de Janeiro, 2017.
- BARRADAS, A. C. S.; BORGES, M. A.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, K. T. Paradigmas da gestão do fogo em áreas protegidas no mundo e o caso da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Revista Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 71-86, ago. 2020. DOI <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v10i2.1474>. Disponível em: <https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/1474>. Acesso em: 23 nov. 2021.
- BORGES, K. M. R.; FILHO, J. C. O.; COAN, G. P. de O.; VASCONCELOS, T. M. M. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como subsídio ao Manejo Integrado do Fogo e ao combate aos incêndios florestais em unidades de conservação federais. **Revista Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n. 2, p. 168-178, mai. 2021. DOI <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i2.1685>. Disponível em: <https://revistaelectronica.icmbio.gov.br/BioBR/article/view/1685>. Acesso em: 23 nov. 2021.
- BRAGANÇA, D. Ricardo Salles quer rever todas as Unidades de Conservação federais do país e mudar SNUC. **O Eco**. 2019. Disponível em: <https://oeco.org.br/noticias/ricardo-salles-quer-rever-todas-as-unidades-de-conservacao-federais-do-pais-e-mudar-snuc/>. Acesso em: 26 de nov. 2021.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 11.276, de 27 de dezembro de 2018**. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo; altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), e 9.9605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília: Câmara dos Deputados, 2018. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190265>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2020**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 23 nov. 2021.
- CASTELLNOU, M.; KRAUS, D.; MIRALLES, M. Prescribed Burning and Suppression Fire Techniques: from Fuel to Landscape Management. In: Montiel C.; Kraus, D. **Best Practices of Fire Use – Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case – Study Regions in Europe**. European Forest Institute, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263580675_Best_Practices_of_Fire_Use_-_Prescribed_Burning_and_Suppression_Fire_Programmes_in_Selected_Case-Study_Regions_in_Europe. Acesso em: 23 nov. 2021.

CHAVES, M.; MARTINS, F.; MATAVELI, G.; CONCEIÇÃO, K.; BARROS, K.; GUERRERO, J. Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 2, n. 1, p. 42-54. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/40>. Acesso em: 23 nov. 2021.

COSTA, J. F. **Estudo da dinâmica do fogo na área da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**: uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2018.

CRISTO, S. S. V. de. **Abordagem geográfica e análise do patrimônio geomorfológico em unidades de conservação da natureza**: aplicação na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e na área de entorno – estados do Tocantins e Bahia. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/72459>. Acesso em: 23 nov. 2021.

FERREIRA, W. P. M. As queimadas e as mudanças climáticas. **Revista ECO 21**, n. 120. PUC: Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1455>. Acesso em: 22 nov. de 2021.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 143 p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

HEINSELMAN, M. L. Fire intensity and frequency as factor in the distribution and structure of northern ecosystems. In: MOONEY, H. A.; BONNICKSEN, T. M.; CHRISTENSEN, N. L.; LOTAN, J. E.; REINERS, W.A. **Fire Regime and Ecosystem Properties**. USDA Forest Service, 1981. p. 7-57. (General Technical Report WO – 26).

HENRIQUES, R. P. B. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado. In: SILVA, J. C. S.; FELFILI, J. M. (Ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 73-92. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/Cerrado_Parte1.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br>. Acesso em: 01 ago. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br>. Acesso em: 04 ago. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins**. Rio da Conceição: ICMBio, 2014. 575 p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo Integrado do Fogo**. Rio da Conceição: ICMBio, 2020. 14 p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Portaria nº 111, de 15 de outubro de 2014. Aprova o Plano de Manejo da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, nos estados do Tocantins e da Bahia (Processo nº 02070.000652/2011-15). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 200, p. 40, 16 de out. 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ªed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. BD-Queimadas. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 04 ago. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 31 de julho de 2023.

KLINK, C.A.; A.G. MOREIRA. Past and current human occupation and land-use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS (EDS), R. J. **The Cerrados of Brazil**: Ecology and natural history of a neotropical savanna. pp. 69-88. Columbia University Press, New York. 2002.

Disponível em:

http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2002_12%20The%20Cerrados%20of%20Brazil.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

LARIS, P.; WARDELL, D. A. Good, bad or ‘necessary evil’? Reinterpreting the colonial burning experiments in the savanna landscapes of West Africa. **The Geographical Journal**, 172(4): 271-290, 2006. Disponível em:

http://faculty.fortlewis.edu/KORB_J/global%20fire/west%20africa%20and%20burning.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

LIMA, A.; ARAGÃO, L. E.; BARLOW, J.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, O.; DUARTE, V. Severidade dos incêndios florestais em anos de seca extrema. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/263170986_Severidade_dos_incendios_florestais_em_anos_de_seca_extrema. Acesso em: 22 nov. 2021.

MAGALHÃES, S. R. de.; RIBEIRO, C. A. A. S.; AZEVEDO, J. C. M. de; FERREIRA, J. M. C. dos S.; FERNANDES, P. A. M.; SILVA, C. A. R. L. da; PINHEIRO, H. M. P.

Comportamento do fogo em diferentes períodos e configurações de uma paisagem no Nordeste de Portugal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 457-469, abr./jun. 2017.

DOI <https://doi.org/10.5902/1980509827728>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/27728/0>. Acesso em: 23 nov. 2021.

MYERS, R. L. Convivendo com o fogo - Manutenção dos ecossistemas e subsistência com o manejo integrado do fogo. **The Nature Conservancy**, Tallahassee, 2006. 36p. Disponível em:

https://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2021/01/1611297734-convivendo_com_o_fogo.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

NASCIMENTO, I. V. **Cerrado**: o fogo como agente ecológico. In: Encontro Sobre Riscos Naturais, 7., 2000, Coimbra. Encontro. Goiânia: UCG, 2001. p.9-22. Disponível em:

https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T08_artg/T08_artg03.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; M. M. B. de. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do Cerrado. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 95-100, mai./ago. 2004. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v34i2.2378>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2378>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PEREIRA JUNIOR, A da C. **Métodos de geoprocessamento na avaliação da suscetibilidade do cerrado ao fogo**. 2002. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, 2002. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2002_PereiraJr_Metodos_Geoproc_doutorado_UFSC.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

PEREIRA, A. A.; MORELLI, F.; CARVALHO, L. M. T. de; BRAGA, A. O. Quantificação de áreas queimadas em unidades de conservação de Minas Gerais através do processamento de imagens TM Landsat 5. *In*: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 6045-6052. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2009/03.02.18.19/doc/@sumario.htm?languaobutton=en>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PEZZOPANE, J. E. M.; NETO, S. N. de O.; VILELA, M. de F. Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 161-166, jan./dez. 2001. Disponível em: <https://www.floram.org/article/588e21f9e710ab87018b45ca>. Acesso em: 23 nov. 2021.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, n. 80(3), p. 223-230, 1997.

SILVA, A. B. N. da. Metodologias de Sensoriamento Remoto para análise de queimadas com base em índices espectrais e diagnóstico de severidade. **Revista Ciência Geográfica**, Bauru, v. XXV, n. 3, p. 968-982, jan./dez. 2021. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/revista_xxv_3.html. Acesso em: 23 nov. 2021.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Nova York: Chapman and Hall, 1986.

SOARES, T. B. O. **Avaliação de áreas queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas – MG: contribuições para implantação do manejo integrado do fogo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SOUZA, N. P. de; SILVA, E. M. G. C.; TEIXEIRA, M. D.; LEITE, L. R.; REIS, A. A. dos; SOUZA, L. N. de; ACERBI JUNIOR, F. W.; RESENDE, T. A. Aplicação do Estimador de Densidade de *kernel* em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise dos focos de desmatamento e focos de calor. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 4958-4965. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.28.09?metadatarpository=dpi>.

inpe.br/marte2/2013/05.29.00.28.10&ibiurl.backgroundlanguage=pt-BR&ibiurl.requiredsite=marte2.sid.inpe.br+802&requiredmirror=dpi.inpe.br/marte2/2013/05.17.15.03.08&searchsite=bibdigital.sid.inpe.br:80&searchmirror=sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/04.07.15.50.13. Acesso em: 10 ago. 2022.

TORQUATO, C. C. A.; COSTA, J. A. F. Ferramentas na construção do sistema de áreas protegidas – Brasil e Colômbia. *In: XV Encontro Preparatório para o Congresso Nacional do CONPEDI, 2007, Campos dos Goytacazes. Anais [...]. Campos dos Goytacazes: Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito, 2007. p. 432-450. Disponível em: [https://s3.amazonaws.com/conpedi2/anteriores/XVI+Encontro+Preparat%C3%B3rio+para+o+Congresso+Nacional+-+Campos+dos+Goytacazes+\(13%2C+14+e+17+de+junho+de+2007\).pdf](https://s3.amazonaws.com/conpedi2/anteriores/XVI+Encontro+Preparat%C3%B3rio+para+o+Congresso+Nacional+-+Campos+dos+Goytacazes+(13%2C+14+e+17+de+junho+de+2007).pdf). Acesso em: 23 nov. 2021.*

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: 1ª ed., Oficina de Textos, 2019. 320 p.