

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

FLORA EDITH NAOMI WARAGAYA

**RELAÇÃO ENTRE FOCOS DE CALOR, TIPOS DE USO E COBERTURA DO
SOLO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS: PARQUE NACIONAL DA CHAPADA
DOS GUIMARÃES E SEU ENTORNO (MT) ENTRE 2003 E 2023**

São Paulo

2024

FLORA EDITH NAOMI WARAGAYA

**RELAÇÃO ENTRE FOCOS DE CALOR, TIPOS DE USO E COBERTURA DO
SOLO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS: PARQUE NACIONAL DA CHAPADA
DOS GUIMARÃES E SEU ENTORNO (MT) ENTRE 2003 E 2023**

Trabalho de Graduação Individual (TGI)
apresentado ao Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências
Humanas, da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientadora: Prof. Dr. Fernando Shinji
Kawakubo

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

W04213 Waragaya, Flora Edith Naomi
000r Relação entre focos de calor, tipos de uso e
cobertura do solo e variáveis meteorológicas:
Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e seu
entorno (MT) entre 2003 e 2023 / Flora Edith Naomi
Waragaya; orientador Fernando Shinji Kawakubo - São
Paulo, 2024.
80 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Cerrado. 2. Incêndios. 3. Parque Nacional da
Chapada dos Guimarães. 4. Uso e cobertura do solo. 5.
Variáveis meteorológicas. I. Kawakubo, Fernando
Shinji, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por sempre me incentivarem em todas as decisões e me ensinarem a ser sempre uma pessoa melhor. À minha irmã, que compartilha momentos de alegria e de superação comigo, sempre com positividade e entusiasmo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo, por me ensinar, guiar e apoiar durante a construção da pesquisa, especialmente na etapa de análise dos dados, quando sua paciência e conhecimento foram fundamentais.

Às minhas amigas da faculdade que estiveram presentes em tantos momentos da graduação e que se tornaram amigas para vida, Bruna, Carol, Mayara, Myllena e Sara. Sentirei saudades das nossas risadas diárias.

Aos meus amigos Akio, Danielle e Miho que me acompanharam nesse caminho e dividiram momentos de felicidade e frustração, vocês foram essenciais.

Agradeço à Universidade de São Paulo, aos professores e colegas por participarem dessa jornada.

RESUMO

O Cerrado, um dos biomas com maior biodiversidade do Brasil, sofre com a intensificação dos incêndios, impactando seus processos ecossistêmicos, bem como a preservação de espécies da flora e da fauna. A literatura ressalta que embora o fogo seja um elemento natural e importante para a manutenção da biodiversidade do Cerrado, o aumento da frequência e intensidade dos incêndios, impulsionado por atividades antrópicas e mudanças climáticas, ameaça a preservação desse bioma. Diante desse cenário, tem-se o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG), que abrange fitofisionomias diversas do Cerrado e que, portanto, desempenha um papel importante na conservação da biodiversidade do bioma. O presente estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de incêndios no PNCG e em sua Zona de Amortecimento (ZA), correlacionando-os com fatores meteorológicos e de uso e cobertura do solo. Utilizando dados de focos de calor do INPE e informações sobre uso e cobertura do solo do MapBiomas, foi possível identificar padrões espaciais e temporais dos incêndios no período de 2003 a 2023. Os resultados indicaram que a ocorrência de incêndios no PNCG e ZA possui um padrão cíclico, com anos de picos seguidos de anos de quedas, provavelmente relacionado com a disponibilidade de biomassa, e está influenciada pela sazonalidade da umidade relativa do ar. Além disso, a análise espacial revelou que a maior parte dos focos se concentra na ZA, especialmente em áreas de imóveis rurais e próximas a rodovias. A correlação entre as áreas de classe de uso e cobertura do solo e a ocorrência de incêndios foi fraca, sugerindo a influência de outros fatores, como a sazonalidade do acúmulo de biomassa, a combustibilidade, o manejo do fogo e as condições climáticas locais.

Palavras-chave: Cerrado, Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Focos de calor, Uso e Cobertura do Solo, Temperatura, Precipitação, Umidade relativa do ar.

SUMÁRIO

Introdução	11
1 Referencial teórico.....	15
1.1 Impacto dos usos e cobertura do solo com o manejo do fogo em unidades de conservação	15
1.2 Influência das variáveis meteorológicas na ocorrência de incêndios.....	18
1.3 Sensoriamento remoto: focos de calor e de uso e cobertura do solo.....	19
2. Metodologia	23
2.1 Área de estudo.....	23
2.2 Dados utilizados	26
<i>2.2.1 Perímetro do PNCG e de sua ZA</i>	<i>26</i>
<i>2.2.2 Dados de foco de calor.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.3 Dados de uso e cobertura do solo</i>	<i>27</i>
<i>2.2.4 Dados meteorológicos</i>	<i>28</i>
2.3 Processamento de dados	28
<i>2.3.1 Dados de foco de calor.....</i>	<i>30</i>
<i>2.3.2 Dados de uso e cobertura do solo</i>	<i>30</i>
<i>2.3.3 Dados meteorológicos</i>	<i>31</i>
<i>2.3.4 Coeficiente de Pearson.....</i>	<i>31</i>
3. Resultados e discussão	32
3.1 Distribuição temporal dos focos.....	32
3.2 Relação entre focos e variáveis meteorológicas.....	35
<i>3.2.1 Temperatura.....</i>	<i>35</i>
<i>3.2.2 Precipitação</i>	<i>37</i>
<i>3.2.3 Umidade relativa do ar.....</i>	<i>40</i>
<i>3.2.4 Coeficiente de Pearson.....</i>	<i>42</i>
3.3 Distribuição espacial dos focos.....	46
3.4 Evolução das classes de usos e cobertura do solo.....	49
3.5 Relação entre focos e uso e cobertura do solo	58
<i>3.5.1 Relação entre ocorrência de focos e áreas de cobertura natural.....</i>	<i>60</i>
<i>3.5.2 Relação entre ocorrência focos e áreas de uso antrópico.....</i>	<i>62</i>
<i>3.5.3 Coeficiente de Pearson.....</i>	<i>65</i>

Conclusão.....	70
Referências bibliográficas	73

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	23
Figura 2 - Fluxograma da metodologia do trabalho.	29
Figura 3 - Gráfico de variação anual dos focos no Mato Grosso e na área de estudo no período de 2003 a 2023.	33
Figura 4 – Gráfico de variação mensal de focos e temperatura média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.....	34
Figura 5 - Gráfico de variação anual de focos e temperatura média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.....	35
Figura 6 - Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de temperatura (1931-1960, 1961-1990,1991-2020) e a média de temperatura entre 2003 e 2023.....	36
Figura 7 - Gráfico de variação anual de focos e precipitação média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.....	38
Figura 8 – Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de precipitação (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) e a média precipitação entre 2003 e 2023.....	40
Figura 9 – Gráfico de variação anual de focos e umidade relativa do ar média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.	41
Figura 10 – Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de umidade relativa do ar (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) e a média de umidade relativa entre 2003 e 2023	42
Figura 11 - Mapa de distribuição espacial da densidade de focos/ 6,25 km ² na área de estudo de 2003 a 2023.....	46
Figura 12 - Mapa de distribuição espaço-temporal da densidade de focos/ 6,25 km ² na área de estudo de 2003 a 2023	48
Figura 13 - Gráfico da evolução do uso e cobertura do solo na área de estudo de 2003 a 2023.....	52
Figura 14 - Gráfico da evolução das coberturas de vegetação nativa na área de estudo de 2003 a 2023.....	53
Figura 15 - Mapa de evolução de uso e cobertura do solo na área de estudo de 2003 e 2023.....	55
Figura 16 - Gráfico da evolução dos usos antrópicos na área de estudo de 2003 a 2023.....	57
Figura 17 - Gráfico da densidade de focos por área em coberturas naturais e usos antrópicos na área de estudo entre 2003 e 2023	59
Figura 18 - Gráfico de densidade de focos por área em coberturas naturais na área de estudo de 2003 a 2023.....	61
Figura 19 - Gráfico da densidade de focos por área em usos antrópicos na área de estudo de 2003 a 2023.	63

Lista de tabelas

Tabela 1 - Relação das bases de dados e características das informações coletadas para a pesquisa	28
Tabela 2 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as variáveis meteorológicas interanuais na área de estudo de 2003 a 2023.	43
Tabela 3 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as variáveis meteorológicas separadas mensalmente na área de estudo de 2003 a 2023.....	45
Tabela 4 – Área e proporção das classes de uso e cobertura do solo na área de estudo entre 2003 e 2023	50
Tabela 5 - Proporção de densidade média de focos de cada classe em relação ao total na área de estudo entre 2003 e 2023.	65
Tabela 6 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as áreas ocupadas pelos usos e cobertura do solo em que foram detectados na área de estudo de 2003 a 2023. 69	

Lista de siglas e abreviações

BDQueimadas	Banco de Dados de Queimadas
CNUC	Cadastro Nacional das Unidades de Conservação
CSV	Formato de arquivo do software Microsoft Excel
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MT	Estado do Mato Grosso
PMIF	Planos de Manejo Integrado do Fogo
PNCG	Parque Nacional da Chapada dos Guimarães
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIF	<i>Tagged Image File</i>
UC	Unidade de Conservação
UCPI	Unidade de Conservação de Proteção Integral
UR	Umidade Relativa do ar
XLSX	Formato de arquivo do software Microsoft Excel
ZA	Zona de Amortecimento

Introdução

Localizado na região central do Brasil, o Cerrado é um bioma com alta biodiversidade, principalmente no que se refere às espécies da fauna, além da flora e às fitofisionomias, compreendendo desde campos limpos aos cerradões florestais e perpassando por Cerrados *sensu stricto* (Ruggiero et al., 2006). Segundo Pinheiro e Monteiro (2010), as teorias mais conhecidas utilizam dos fatores climáticos, pedológicos e da ação do fogo para explicar a diversidade e origem do Cerrado. Há estudos que apontam que tal diversidade fitofisionômica é decorrente de características edáficas, como a disponibilidade de nutrientes e o teor de alumínio no solo (Alvim & Araújo 1952; Goodland & Pollard 1973; Ratter et al. 1977; Silva Júnior et al. 1987). Já outros estudos afirmam a influência de variáveis meteorológicas, como temperatura e pluviosidade (Walter, 1986).

Há também estudos, como os de Coutinho (1976) e Fidelis & Pivello (2011), que apontam a dependência de grande parte dos processos ecológicos das fitofisionomias do Cerrado de um regime do fogo, uma vez que as queimadas naturais têm ocorrido nesse bioma, pelo menos desde a metade do Holoceno, o que indica que as espécies evoluíram junto com os eventos de fogo, adaptando-se morfológica e fisiologicamente ao mesmo (Behling, 1995; Pinheiro & Durigan, 2009). É importante destacar que o Cerrado, como observado por Eiten (1972), enfrenta flutuações sazonais acentuadas em relação à precipitação pluviométrica, a qual influencia o regime do fogo (Fidelis & Pivello, 2011). Durante o período de chuvas, observa-se a produção e o acúmulo de gramíneas. Em contrapartida, nas estações secas, a maioria dessas gramíneas passa por um processo de decomposição (Klink & Solbrig, 1996; Fidelis & Pivello, 2011), o que torna a vegetação extremamente propensa a incêndios (Fidelis & Pivello, 2011).

Assim, pode-se concluir que para a manutenção desse bioma, é necessária a presença do fogo (Fidelis & Pivello, 2011), bem como um regime de queima equilibrado (Miranda, 2010). Contudo, como aponta Miranda (2010), as alterações nesse regime de queima podem influenciar a maneira como os organismos reagem ao fogo, visto que os efeitos do incêndio estão ligados às transformações no ambiente após o evento de queima. Fidelis e Pivello (2011) observaram que a frequência de incêndios pode provocar alterações significativas na fitofisionomia de uma área, resultando em uma maior abertura do ambiente e predominância de estratos graminóides em regiões constantemente afetadas pelo fogo. Isso ocorre porque a alta recorrência de queimadas prejudica o estabelecimento e a sobrevivência de árvores

jovens (Moreira, 2000; Miranda et al., 2002, 2009), como consequência, ocorre a perda de espécies herbáceas características e a mudanças na fisionomia da vegetação (Fidelis & Pivello, 2011). Além disso, de acordo com Hardesty *et al.* (2005), muitos ecólogos e conservacionistas alertam que o excesso ou a falta da presença do fogo faz com que seja alterado o regime do fogo, o qual é definido pela intensidade, frequência, padrão e sazonalidade dos incêndios dentro de um ecossistema específico (Mclauchlan et al., 2020). A alteração do regime do fogo pode ser uma ameaça à conservação dos biomas dependentes desse distúrbio Hardesty *et al.* (2005).

Segundo o relatório Histórico do fogo no Brasil - resultados da coleção 3 do Mapbiomas Fogo (1985-2023), o Cerrado vem apresentando um aumento constante de áreas queimadas; em 2023, foi registrada uma área queimada acumulada de 88.507.718 hectares, um aumento de 537% em relação a 1985. Destaca-se que, segundo o mesmo relatório, o Mato Grosso, sendo composto além do bioma Cerrado, pelo Pantanal e pela Amazônia, foi classificado como o estado que mais queimou nesse período, totalizando uma área de 43.667.745 hectares, o que é 50,34% a mais do que o segundo estado que mais queimou, o Pará. Além disso, de acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), entre 1998 e 2023, o estado de Mato Grosso registrou mais de 960 mil focos de calor, o que representa um aumento de 455% em relação à média do período. Parte desses focos foram identificados tanto dentro quanto na área ao entorno do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG).

Para Fiedler et al. (2006), o aumento na frequência dos focos de calor no Cerrado está associado a atividades antrópicas na região. A ocupação humana desenfreada, segundo os mesmos autores (2006), especialmente na Região Centro-Oeste do Brasil, está voltada para a expansão de atividades da agropecuária, as quais fazem uso do fogo para limpeza de áreas (Nascimento, 2001). Essa pressão antrópica, além de elevar a quantidade de incêndios, altera a capacidade de regeneração de elementos da biota, especialmente os mais sensíveis, contribuindo para a degradação e supressão do bioma (Fiedler et al., 2006). O qual é considerado um *hotspot*, área prioritária para conservação ambiental devido a sua elevada biodiversidade e a elevada perda de habitat, resultado de intensa degradação e pressão antrópica. (Myers et al., 2000).

As mudanças climáticas estão causando condições mais secas no Cerrado (Hofmann et al., 2021), as quais atreladas às atividades antrópicas, como o a expansão agrícola, o desmatamento e práticas insustentáveis de manejo do solo, aumentam a frequência e a

extensão dos incêndios no Cerrado (Da Silva Arruda et al., 2024). O Cerrado no Brasil, originalmente, abrangia uma área de aproximadamente 2 milhões de km², o que correspondia a cerca de 25% do território nacional (Durigan & Ratter, 2016). No entanto, estimativas recentes indicam que atualmente restam apenas 833.000 km² da cobertura original do Cerrado, o que representa menos que 40%, da vegetação nativa (Soares-Filho et al., 2014; Overback et al., 2015).

Assim, diante do contexto de degradação e supressão do Cerrado, tornou-se essencial a criação de Unidades de Conservação para proteger o bioma. Entre essas Unidades de Conservação, encontra-se o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG). Ressalta-se, contudo, que por mais que tal unidade tem como fim a proteção do bioma, são registrados eventos de fogo no interior do PNCG e na sua Zona de Amortecimento (ZA) (Mengue, 2022). É importante destacar que as causas desses eventos são diversas, podendo ser ocasionadas por atividades antrópicas, como renovação de pastagem, épocas de seca, manejo do próprio parque utilizando o fogo como ferramenta etc. (Lemes et al., 2014; Mengue, 2022; Neto et al., 2017).

Diante da complexidade dos impactos ambientais e sociais resultantes das queimadas, torna-se essencial o desenvolvimento e uso de tecnologias que permitam uma análise sistêmica desse cenário (Mengue, 2022). Nesse contexto, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta valiosa, possibilitando a aquisição de informações espaciais sem a necessidade de contato direto com a área, objeto ou fenômeno de interesse (Liu, 2015). Esse método baseia-se na transferência de dados resultante da interação entre a radiação eletromagnética e os alvos de estudo (Ponzoni, Shimabukuru & Kuplich, 2015). As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para Mengue (2022), oferecem ferramentas essenciais para o monitoramento do fogo de forma contínua e detalhada, sendo capazes de fornecer dados frequentes e de baixo custo (Araújo, 2010).

Esse monitoramento espacial e temporal permite uma análise comparativa ao longo dos anos, facilitando a compreensão dos fatores que influenciam os incêndios florestais e gerando dados que poderão ser utilizados para a elaboração de planos de manejo do parque e Planos de Manejo Integrado do Fogo (PMIF) mais eficazes (Mengue, 2022; Prudente, 2016). Para Alves e Alvarado (2019), a integração dos dados de áreas queimadas com aqueles relativos à dinâmica de uso e cobertura do solo fornece informações fundamentais para a caracterização dos regimes de queima atuais. Essa combinação é uma ferramenta relevante para compreender as influências antrópicas sobre as alterações nos padrões de fogo, permitindo uma análise mais aprofundada dos impactos das atividades humanas na

frequência, intensidade e extensão das queimadas (Alves & Alvarado, 2019). Além disso, esses métodos são especialmente relevantes para cobrir áreas extensas e remotas, onde o acesso para estudo *in loco* é limitado, tornando essas tecnologias fundamentais para a gestão e proteção das áreas ambientais (Mengue, 2022).

Sendo assim, esta monografia, tem como objetivo principal analisar a distribuição espacial e temporal dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e em seu entorno entre 2003 e 2023, relacionando-os com o uso e ocupação do solo e as variáveis climatológicas na região, a fim de ser um instrumento que possa auxiliar no planejamento territorial do Parque. Como objetivos específicos foi proposto investigar a influência das variáveis meteorológicas anuais e mensais com as ocorrências de focos, além de compreender se a extensão de cada classe possui relação direta com os focos.

A estrutura da pesquisa se apresenta da seguinte forma: o capítulo 1 aborda os conceitos teóricos relacionados à pesquisa, como as definições de queimadas e incêndios, sua influência na paisagem e sua relação com os diferentes tipos de uso e ocupação do solo. Também são discutidas as relações entre a ocorrência desses incêndios com variáveis meteorológicas, como temperatura, umidade relativa e precipitação, bem como os métodos de obtenção e processamento de dados sobre focos de calor, uso e cobertura do solo e condições meteorológicas. O capítulo 2 detalha a metodologia utilizada e apresenta as fontes dos dados empregados no estudo. No capítulo 3, são expostos os resultados e as análises, seguido pelas considerações finais.

1 Referencial teórico

1.1 Impacto dos usos e cobertura do solo com o manejo do fogo em unidades de conservação

As paisagens são entendidas como produto da interação entre seus elementos naturais formadores e as modificações constantes que são, ou não, influenciadas pelas intervenções humanas (Da Silva Seabra, Vicens & Cruz, 2013). Nesse sentido, é essencial analisar o histórico das ações humanas sobre a superfície do solo, uma vez que várias transformações do passado influenciam processos que ocorrem atualmente, desempenhando, assim, um papel crucial na configuração do espaço geográfico (Da Silva Seabra, Vicens & Cruz, 2013).

Tais transformações podem ser observadas no Cerrado, onde a expansão humana sobre o bioma resultou na conversão da vegetação nativa para pastagens e cultivos anuais (Oliveira, Pietradesa & Barbalho, 2008), através de práticas recorrentes de corte e queima (Menezes et al., 2022). Entre 1985 e 2023, observou-se uma perda líquida de 38,2 milhões de hectares de vegetação nativa no Cerrado, o que corresponde a 27%, enquanto a área destinada à agropecuária aumentou 68% (Mapbiomas, 2024). Essa alteração ameaça o bioma, causando impactos em várias dimensões e escalas, como aumento à suscetibilidade a incêndios, fragmentação dos habitats, extinção de espécies nativas, introdução de espécies exóticas, degradação do solo, deterioração de ecossistemas e alterações climáticas regionais (Klink & Machado, 2005; Menezes et al., 2022).

Diante da degradação do Cerrado causada pela alteração de uso e cobertura do solo e do regime do fogo, ambos causados por ações antrópicas (Fiedler et al., 2006; Da Silva Arruda et al., 2024), torna-se essencial compreender e monitorar o uso e cobertura do solo nesse bioma (Prudente & Rosa, 2007). A expressão "uso do solo" refere-se à forma como o espaço é ocupado pelo ser humano, englobando tanto atividades econômicas quanto práticas culturais e sociais (Loch, 1989). Já a cobertura do solo, segundo Turner e Meyer (1994), é a cobertura física e biológica da camada superficial terrestre.

Dessa forma, o estudo sobre o uso e ocupação do solo requer uma análise das diversas formas de ocupação humana, assim como da vegetação nativa e de suas distribuições em áreas onde a intervenção humana ainda não ocorreu de maneira direta (Rosa, 2003). Pesquisas que estabelecem a conexão entre a caracterização da cobertura do solo e a avaliação de seus diferentes usos e manejos funcionam como ferramentas essenciais para entender a intensidade e o tipo de modificações em áreas específicas. De acordo com Jansen

(2002), as transformações no uso e cobertura do solo podem se dar de duas maneiras. A primeira forma é a conversão de uma categoria de uso para outra, como, por exemplo, a substituição de uma área de cobertura florestal por pastagem. Já a segunda forma está relacionada ao manejo, envolvendo alterações dentro da própria categoria de uso, como a transformação de uma área dedicada a pequenos campos agrícolas em áreas de agricultura irrigada.

Além disso, outra ameaça ao Cerrado é a alta frequência de ocorrência de incêndios. O Cerrado é um bioma com uma dinâmica que depende do fogo, pois suas espécies coevoluíram em resposta ao mesmo (Ramalho et al., 2024). Contudo, é importante destacar que essas espécies estão adaptadas não apenas à presença do fogo, mas a um regime específico, caracterizado por queimadas frequentes e de baixa intensidade, que ocorrem geralmente nas estações mais secas (Myers & Batalha, 2006). Quando esse regime é alterado, com incêndios mais intensos, por exemplo, o Cerrado pode ser gravemente prejudicado, levando à perda de biodiversidade e à degradação do solo (Miranda, 2010; Ramalho, 2024).

O manejo adequado do fogo pode contribuir para a conservação da biodiversidade em áreas que preservam ecossistemas dependentes do fogo, como o PNCG, conforme indicado por Myers & Batalha (2006) e por Ramalho et al. (2024). Queimas controladas e queimas prescritas, de acordo com o Art. 2 da Lei nº 14.944/2024, são definidas, respectivamente, como “uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins agrossilvipastoris em áreas determinadas e sob condições específicas” e “uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins de conservação, de pesquisa ou de manejo em áreas determinadas e sob condições específicas, com objetivos predefinidos em plano de manejo integrado do fogo”. Esse plano é descrito como “instrumento de planejamento e gestão” (Art.10, Lei nº 14.944/2024) que integra a prevenção, supressão e uso controlado do fogo com os atributos ecológicos essenciais para manter um regime de fogo apropriado aos ecossistemas locais, além de considerar as necessidades socioeconômicas e culturais do uso do fogo (Myers & Batalha, 2006).

É importante ressaltar que o manejo do fogo, realizado principalmente em Parques Nacionais — Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral, conforme o Art. 7 da Lei 9.985/2000 —, visa reproduzir de forma controlada os incêndios que fazem parte da dinâmica natural do Cerrado, contribuindo para reduzir e evitar desastres ambientais durante períodos prolongados de estiagem (Goulart et al., 2011). Antes da adoção institucional da prática do

MIF pelo ICMBio, o órgão ambiental federal responsável pela gestão de Parques Nacionais, a abordagem ao fogo era predominantemente preservacionista e reativa, com menor intervenção humana, de acordo com a política de "fogo zero" então vigente (ICMBio, 2022b). Contudo, como destacam Myers e Batalha (2006), a supressão do fogo resultou no acúmulo significativo de material combustível, alterando a vegetação e tornando-a mais suscetível a incêndios intensos em anos de seca atípica. Esse processo também levou à perda de espécies adaptadas a paisagens mais abertas, que queimavam com maior frequência e intensidade reduzida (Miranda, 2010).

As queimadas prescritas promovidas pelo PMIF têm mostrado uma redução significativa na ocorrência de mega incêndios, contribuindo para a diminuição de grandes cicatrizes, da intensidade dos incêndios e das emissões de gases de efeito estufa que ocorrem durante eventos descontrolados (Ramalho et al., 2024). Tais usos planejados do fogo se diferenciam do conceito de incêndio, que é caracterizado como “qualquer fogo não controlado e não planejado que incida sobre florestas e demais formas de vegetação, nativa ou plantada, em áreas rurais e que, independentemente da fonte de ignição, exija resposta” (Brasil, 2024, Art.2). Assim, pode-se presumir que o incêndio se enquadra como queimadas excessivas e inadequadas, que causam alteração no regime do fogo, o que impacta negativamente tanto a viabilidade dos ecossistemas desejáveis quanto a sustentabilidade dos produtos e serviços que fornecem, conforme apontam Myers e Batalha (2006).

Em alguns PMIFs de Unidades de Conservação do Cerrado, como o Parque Nacional da Serra da Canastra (ICMBio, 2022c), Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (ICMBio, 2022b), Parque Nacional de Brasília (ICMBio, 2023) e Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (ICMBio, 2022a), foram identificadas possíveis causas dos incêndios. Entre elas estão: a criação de áreas para atividades de garimpo artesanal ou extrativismo, frequentemente ilegais; ocupações recentes de áreas rurais para a formação de chácaras e loteamentos; a eliminação de pragas; a abertura de roçados; a limpeza e manejo de áreas abertas, especialmente para pastagem de gado; o descarte de resíduos domésticos, sobretudo em regiões residenciais ou de veraneio; além de atos de vandalismo. A proximidade dessas áreas naturais com regiões antropizadas, como malha viária, centros urbanos, propriedades rurais e áreas industriais, aumenta a propensão à ocorrência de incêndios devido à contínua interferência das atividades humanas (Ramalho et al., 2024).

Assim, a conservação dos ecossistemas sensíveis ao fogo é vital para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, que estão ameaçados pelas práticas de uso do solo que desconsideram as dinâmicas naturais do fogo (Myers & Batalha, 2006). As atividades humanas, ao converter a vegetação e intensificar o uso do fogo, não apenas alteram o regime natural do fogo, mas também colocam em risco a diversidade de espécies adaptadas a esses ecossistemas (Fidelis & Pivello, 2011; Ramalho et al., 2024).

1.2 Influência das variáveis meteorológicas na ocorrência de incêndios

O regime do fogo abrange o comportamento dos incêndios florestais, considerando um conjunto de características e padrões de ocorrência, como a frequência, o tamanho, o tipo, a sazonalidade, a intensidade e a severidade das chamas (Myers & Batalha, 2006; Krebs et al., 2010). No Cerrado, estudos indicam uma relação entre a sazonalidade das ocorrências de fogo e os períodos de maior seca, entre maio e outubro (Da Silva Arruda et al., 2024; Mengue, 2022; Neto et al., 2017; Ramalho et al., 2024). Ressalta-se que também é possível ocorrer incêndios naturais causados por raios no início da estação chuvosa, contudo, geralmente são pequenos e rapidamente extintos pelas chuvas que se seguem (Ramos-Neto & Pivello, 2000).

Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007) destacam que a ocorrência de combustão requer a interrelação essencialmente de três elementos que formam o chamado triângulo do fogo: oxigênio, calor e combustível, todos influenciados por variáveis meteorológicas. Entre essas, a temperatura, o vento, a umidade relativa do ar e a precipitação são especialmente relevantes, pois podem criar condições que facilitam a propagação do fogo (Prudente, 2016). Temperaturas elevadas e ventos frequentes intensificam a evapotranspiração e aceleram a secagem da vegetação, tornando os ambientes mais vulneráveis à ocorrência de incêndios florestais (Sari, 2021; Bonora, 2013). A precipitação e a umidade relativa do ar, assim como a temperatura, influenciam a umidade do material combustível, de forma que quanto maior as taxas de precipitação e umidade relativa do ar, menor a suscetibilidade ao fogo (Sari, 2021; Larcher, 2000).

A temperatura, além de aumentar a evapotranspiração das plantas e desidratar os materiais combustíveis, influencia na quantidade de calor requerida para que um material combustível, como folhas secas ou madeira, alcance a temperatura de ignição (Soares & Batista, 2007; Bonora, 2013). Assim, quanto mais elevada a temperatura

inicial do combustível e do ar ao redor, menor é a quantidade de calor necessária para o início do fogo.

Prudente (2016) enfatiza que a análise da variável precipitação deve ser analisada além do acúmulo anual de chuva, considerando também sua distribuição ao longo das estações. A vegetação do Cerrado, conforme descrito por Eiten (1972), é influenciada pelas flutuações sazonais de precipitação, com uma estação seca bem definida no inverno, durante a qual a precipitação pode ser praticamente nula (Alvares et al., 2013). Nos períodos de maior pluviosidade, ocorre a produção e o acúmulo de biomassa, que, ao secar durante o inverno, torna-se altamente suscetível a incêndios (Klink & Solbrig, 1996). Assim, observa-se que o regime do fogo no Cerrado segue as flutuações sazonais da precipitação, concentrando-se nos períodos de estiagem, quando a biomassa acumulada, já seca, funciona como combustível ideal para a propagação de incêndios (Da Silva Arruda et al., 2024).

A umidade relativa do ar é um fator essencial para a propagação de incêndios, pois há uma troca contínua de vapor d'água entre o ar e o combustível (Prudente, 2016). Baixos índices de umidade aumentam a probabilidade de combustão (Deppe et al., 2004). Em condições de ar seco, ocorre um aumento da evapotranspiração nas plantas (Prudente, 2016), devido ao maior déficit e pressão de vapor na atmosfera (Silva et al., 2003). Dessa forma, as plantas perdem umidade, a qual poderia ser recuperada a partir da umidade do solo proveniente da chuva, mas essa recuperação é insuficiente (Nobre et al., 2007). Como consequência, as plantas secam, tornando-se em combustíveis altamente inflamáveis (Prudente, 2016).

1.3 Sensoriamento remoto: focos de calor e de uso e ocupação do solo

Para um maior entendimento sobre os efeitos gerados pelas rápidas transformações provocadas pela atividade humana na superfície do planeta é essencial que haja monitoramento contínuo, no qual o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta fundamental (Shimabukuru, Maeda & Formaggio, 2009). Diante da pressão exercida pelas atividades humanas, que se relaciona diretamente com a modificação dos usos e ocupações do solo, além da proliferação de incêndios no Cerrado, o sensoriamento remoto pode fornecer dados sobre tais temáticas, auxiliando na análise sistemática do território (Florenzano, 2002; Granemann & Carneiro, 2009; Mengue, 2022; May & Reis, 2016 *apud* Pacheco, 2021).

Entende-se sensoriamento remoto como:

a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações. (NOVO, 1998, p.2)

Conforme descrito por Florenzano (2002), a energia gerada pelo Sol pode ser absorvida, transmitida ou refletida pela superfície terrestre. Essa forma de energia, conhecida também como Radiação Eletromagnética, propaga-se por ondas eletromagnéticas que vão desde o espectro visível pelo ser humano até o não visível, incluindo micro-ondas, raios X e infravermelho (Jensen, 2009). Quando refletida, essa energia, como consta Florenzano (2002), é captada pelo sensor eletrônico acoplado em um satélite artificial, que transforma a energia refletida em sinais elétricos. Esse sensor converte a energia refletida em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra, possibilitando a interpretação da imagem, que, posteriormente, é processada para se tornar um produto visível ao olho humano, apresentando os dados em tabelas, gráficos ou imagens (Florenzano, 2002). Ressalta-se que as imagens geradas contêm elementos essenciais, como tonalidade ou cor, textura, tamanho, forma, sombra, padrão e localização, fundamentais para a análise e interpretação dos objetos, áreas ou fenômenos observados (Prudente, 2016).

O sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite, possibilita a obtenção de dados sobre a cobertura do solo em vastas regiões de maneira contínua (Ferreira, 2004). Esse método permite a coleta e análise de informações de forma mais ágil e econômica em comparação aos métodos tradicionais (Rosa, 2003), caracterizando-se como uma tecnologia eficiente para o monitoramento de alterações ambientais (Ferreira, 2004). O mapeamento do uso do solo e da cobertura vegetal nativa é essencial para compreender como um espaço está sendo utilizado, auxiliando planejadores e legisladores na elaboração de políticas de uso do solo que promovam o desenvolvimento regional (Prudente & Rosa, 2007).

Considerando as transformações de uso e cobertura do solo no Brasil nos últimos anos, principalmente no Mato Grosso, com o Arco do Desmatamento (ISA, 2019; Mapbiomas, 2024), o Mapbiomas se destaca como uma ferramenta importante para análise de tais mudanças. Com dados desde 1985, atualmente na Coleção 9 de Cobertura e Uso da Terra, o Mapbiomas oferece uma base robusta para a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo, incluindo regiões do Cerrado. O projeto realiza o processamento de todas

as imagens *Landsat*, a partir de algoritmos de aprendizado de máquina e filtros específicos para melhorar a consistência espacial e temporal dos dados (Mapbiomas, 2024).

A metodologia do Mapbiomas para gerar mapas de uso e cobertura da terra no Brasil começa com a coleta de imagens de satélite *Landsat*, que possuem resolução de 30 metros, de uma série histórica desde 1985 até 2023. São selecionados apenas os pixels limpos (sem nuvens ou interferências), e para cada um desses pixels são extraídas informações, como a média, o valor máximo e a variação das bandas espectrais, formando mosaicos anuais em que cada pixel contém até 105 camadas de dados. A partir desses mosaicos, utiliza-se o classificador "*random forest*", um algoritmo de aprendizado de máquina treinado com amostras de áreas conhecidas para diferenciar as classes de uso (como floresta, agricultura, água etc.) e criar um mapa de cobertura e uso do solo para cada ano. Para garantir a consistência do mapa, são aplicados filtros espaciais e temporais. O filtro espacial ajusta pixels isolados, enquanto o filtro temporal evita mudanças irreais, como a transição de floresta para área urbana e o retorno para floresta (Mapbiomas, 2024).

O sensoriamento remoto, além de processar imagens de satélite para análise de variações espaço-temporais de uso e cobertura do solo, permite detectar monitorar a ocorrência de focos de calor na superfície terrestre (Mengue, 2022; Alves & Alvarado, 2019), o que pode auxiliar no planejamento de prevenção e combate à incêndios no Cerrado (Prudente, 2016). Atualmente, segundo Silva et al. (2017), a detecção e o monitoramento de focos de calor são feitos com dados obtidos por sensores orbitais. Estes focos de calor podem resultar em queimadas na vegetação em todo o Brasil e são obtidos por diversos satélites de baixa resolução espacial e alta resolução temporal, ficando disponível a todos usuários, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (INPE, 2024).

Esse mesmo órgão, em colaboração com a NASA, desenvolveu, em 1985, uma técnica de monitoramento diário de queimadas na Amazônia utilizando satélites com sensores de baixa resolução (1 km) como parte do experimento internacional GTE/ABLE-2A (Ferreira, 2004). Naquela época, imagens diurnas do AVHRR do satélite NOAA-9 mostraram que era viável detectar focos de calor ao empregar dados da banda térmica na faixa de 3,55µm a 3,93µm (PEREIRA & SETZER, 1986 *apud* Ferreira, 2004). O Programa Queimadas do INPE, em operação desde 1985, realiza a detecção de queimadas no Brasil por meio de satélites em órbita polar e geoestacionários que operam na faixa termal-média do espectro óptico, entre 3,7 µm e 4,1 µm, onde a emissão de energia dos focos de calor é mais

evidente (INPE, 2024). Atualmente, são utilizados dez satélites equipados com sensores ópticos. Os satélites em órbita polar, como o NOAA-18, NOAA-19, METOP-B, METOP-C (equipados com o sensor AVHRR/3), TERRA e AQUA (com o sensor MODIS), e o NPP-Suomi e NOAA-20 (com o sensor VIIRS), fornecem pelo menos duas imagens diárias de cada área (INPE, 2024). Os geoestacionários, como o GOES-16 e o MSG-3, capturam imagens a cada dez minutos, possibilitando um monitoramento quase contínuo da região (INPE, 2024).

Ressalta-se que o tamanho do *pixel*, que representa a resolução espacial da imagem, é importante. O Programa Queimadas detecta a presença de fogo, mas não consegue medir com precisão o tamanho exato da área queimada ou o tipo de vegetação afetada (INPE, 2024). Em casos com vários *pixels* de queima e uma grande nuvem de fumaça, pode-se entender que a extensão da queimada é, no mínimo, o tamanho dos píxeis envolvidos (INPE, 2024). Nos sensores AVHRR (NOAA-18 e NOAA-19) e MODIS (AQUA e TERRA), o *pixel* tem resolução de 1 km², o que significa que uma queimada de pequenas dimensões será representada como uma área de 1 km². Nos satélites geoestacionários, o *pixel* é de 2 km x 2 km, resultando em uma área de 4 km² (INPE, 2024).

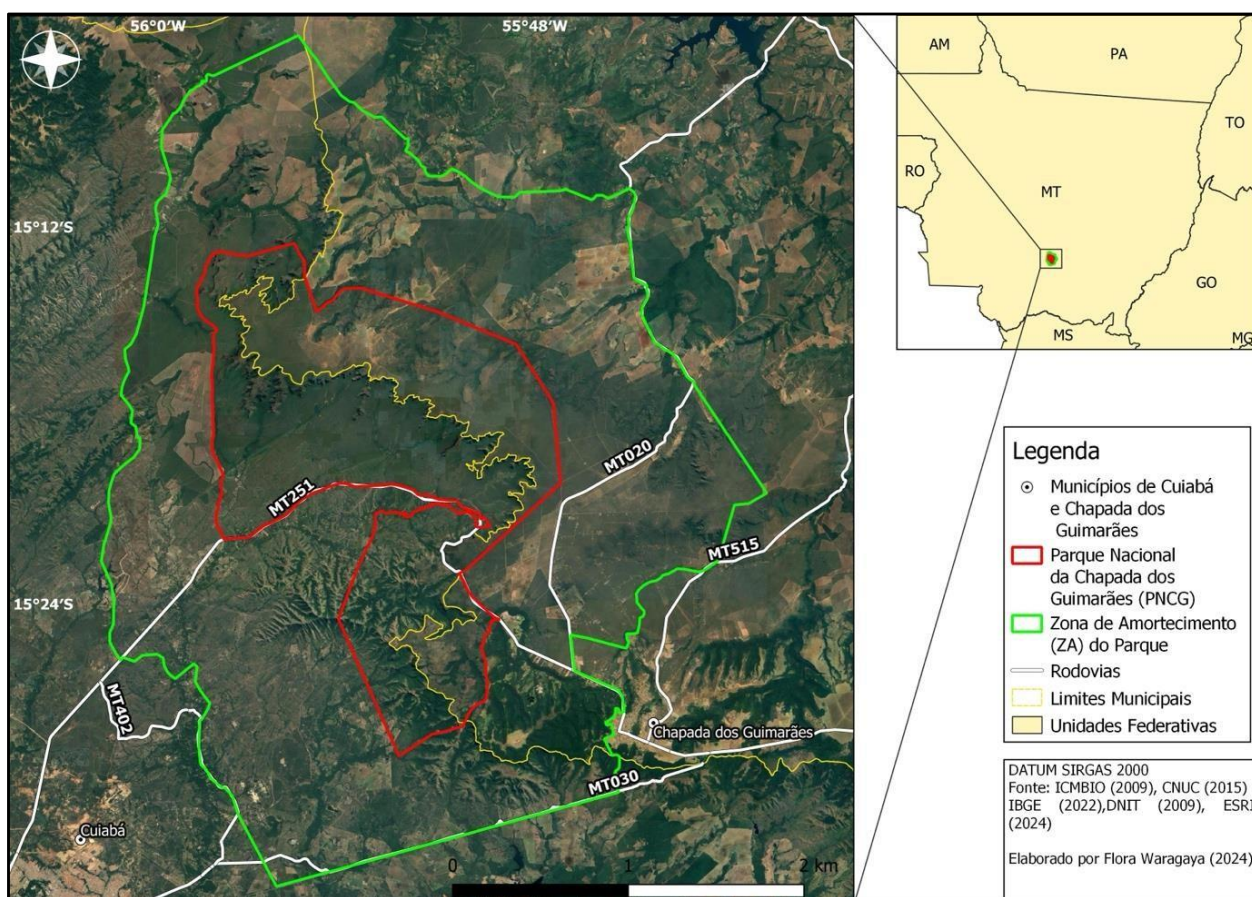
É importante destacar que a detecção remota de focos de calor não garante sempre a presença de fogo ativo, embora, na maioria dos casos, esteja associada a áreas com fogo (Barbosa, 2010). De acordo com o INPE (2024), um foco indica fogo em um pixel, cuja dimensão varia de 375 m² a 5 km², dependendo do satélite, e um único foco pode representar várias frentes de fogo. Em eventos de fogo de grande porte, múltiplos pixels vizinhos podem ser detectados, ou seja, vários focos podem corresponder a um único evento extenso. Além disso, um mesmo evento pode ser identificado por diferentes satélites ao longo do dia, gerando mapas que apontam a mesma ocorrência. Nos locais com queima de vegetação identificados por sensoriamento remoto, os termos 'foco de calor', 'foco de queimada' e 'foco de incêndio' são usados como sinônimos. Adicionalmente, é importante ressaltar que esses focos são apenas indicadores de queima, e não medições absolutas da superfície, com seu número diretamente relacionado à extensão do fogo (INPE, 2024).

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG) e seu entorno, delimitado pela Zona de Amortecimento (ZA). O PNCG e a sua ZA com 32.630,70 ha e 119.554,496 ha, respectivamente, estão localizados nos municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, região Sul do estado do Mato Grosso (Figura 1) (ICMBio, 2009). O limite do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães está localizado a aproximadamente 26 km da área urbana de Cuiabá e a 6 km da cidade de Chapada dos Guimarães. O acesso ao Parque é através da Rodovia MT-251, que é asfaltada e atravessa parte da unidade de conservação, funcionando também como um dos limites da área protegida (Mengue, 2022).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração própria.

O Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), foi criado em 1989 a partir do Decreto Federal nº 97.656, visando

proteger e preservar amostra dos ecossistemas ali existentes, assegurando a preservação de seus recursos naturais, proporcionando oportunidades controladas para uso pelo público, educação, pesquisa científica e também contribuindo para a preservação de sítios arqueológicos existentes na área. (BRASIL, 1989)

Para complementar a proteção da biodiversidade do Parque Nacional, foi criada a Zona de Amortecimento. Conforme definido na Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, trata-se de "o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade" (BRASIL, 2000). Destaca-se que o Parque além de contar com Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, também possui o Plano de Manejo Integrado do Fogo.

Essa unidade de conservação se encontra entre as seguintes coordenadas geográficas 15° 10' a 15° 30' Latitude Sul e 55°45' a 56°00' Longitude Oeste de Greenwich (ICMBio, 2009). O PNCG encontra-se em distintas regiões morfológicas como o Planalto dos Guimarães e a Depressão Cuiabana. A unidade geomorfológica do Planalto dos Guimarães é subdividida em três compartimentos: a Chapada dos Guimarães, Planalto do Casca e Planalto dos Alcantilados, com variações de altitude entre 600 e 800m, 300 e 600m e 300 e 650m, respectivamente (ICMBio, 2009).

Do ponto de vista geológico, conforme o ICMBio (2009), o município de Cuiabá é composto por rochas metassedimentares dobradas do Grupo Cuiabá, caracterizadas por baixo grau metamórfico e fácies xisto-verde, que integram a unidade tectônica Faixa Paraguai, formada durante o Ciclo Pan-Africano/Brasiliiano (entre 1.000 e 500 milhões de anos atrás). Já a região da Chapada dos Guimarães é constituída por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, representadas pelos grupos Paraná (Formações Furnas e Ponta Grossa, de idade devoniana) e São Bento (Formação Botucatu, de idade jurássica) (ICMBio, 2009).

A região do Parque é composta por duas unidades morfoestruturais, o Planalto dos Guimarães e a Depressão Cuiabana. A primeira unidade está relacionada com a Bacia Sedimentar do Paraná e do Cambambe, além disso, destacam-se as formas dissecadas, visíveis em colinas e morrotes, assim como as pediplanadas, que aparecem em rampas, e as formas aplanadas, encontradas nas planícies e terraços fluviais do rio Cuiabá (Ross, 2014). Já a segunda tem seu desenvolvimento ligado a rochas da Faixa de Dobramentos Paraguai (Faria et al., 2021) e é caracterizada por área de baixa altitude, variando entre 200 e 450 metros, com relevo diversificado (ICMBio, 2009). Destaca-se que a Chapada dos Guimarães envolve a Depressão Cuiabana, formando escarpas abruptas compostas por arenitos friáveis da Formação Botucatu (ICMBio, 2009).

Os solos predominantes na região estão diretamente relacionados às rochas locais. A área do PNCG, segundo o ICMBio (2009), é composta principalmente por Neossolos Quartzênicos Órticos sobre arenitos, Neossolos Quartzênicos Hidromórficos sobre arenitos nas cabeceiras e margens dos cursos d'água, e Neossolos Litólicos Distróficos sobre filitos, xistos e quartzitos, presentes tanto em terrenos acidentados quanto em áreas mais aplainadas do Grupo Cuiabá. Em áreas mais elevadas e em vales, também ocorrem Latossolos, Plintossolos e Argissolos (ICMBio, 2009).

O Parque Nacional, como consta no Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (2009), está situado na bacia do rio Cuiabá e abriga nascentes de afluentes de dois importantes formadores: o rio Coxipó e o rio Manso. O rio Coxipó, um dos principais cursos d'água do PNCG, nasce fora do Parque, próximo à área urbana de Chapada dos Guimarães, que integra sua área de recarga (ICMBio, 2009).

Em relação ao clima, Mengue (2022) constata que as temperaturas médias anuais na região variam de 25°C na Baixada Cuiabana a 21,5°C nos pontos mais elevados da Chapada dos Guimarães, com máximas diárias que podem ultrapassar 38°C na Baixada e mínimas que chegam a menos de 5°C nos topos da Chapada. A precipitação média anual fica entre 1.300 e 1.600 mm na Baixada Cuiabana e chega a 2.100 mm nas áreas mais altas da Chapada dos Guimarães, com a maior parte das chuvas concentrada nos três primeiros meses do ano (Mengue, 2022). Durante a estação seca, a umidade relativa do ar pode baixar para menos de 20% (ICMBio, 2009).

Na classificação climática de Köppen (1948), a unidade de conservação estudada se encontra em duas áreas denominadas como “Aw - Clima Tropical de Savana” e “Cw - clima subtropical de altitude com inverno seco”, a primeira referente ao clima da Baixada Cuiabana e a segunda, das áreas mais altas da Chapada (ICMBio, 2009; Mengue, 2022, Neto et al., 2017). Ambas as classificações apresentam duas épocas bem definidas: a seca, que vai de maio a outubro, e a temporada de chuvas, que começa em novembro e se estende até abril, com maior concentração entre janeiro e março (Mengue, 2022, Neto et al., 2017).

A região do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, como qualquer outra, é influenciada por fenômenos climáticos de grande escala, como a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), o El Niño e a La Niña. A AMO, ao alterar os padrões de circulação atmosférica no Atlântico Norte, pode modular a intensidade das chuvas e a temperatura na região, afetando diretamente o regime hídrico dos rios e a umidade do ar. No Cerrado, a OMA causa maior evaporação e diminuição da umidade relativa do ar. Os eventos El Niño e La Niña, por sua vez, ao alterarem a temperatura das águas do Pacífico Equatorial,

influenciam a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, consequentemente, a distribuição das chuvas na América do Sul. Durante eventos El Niño, por exemplo, a área de estudo pode experimentar uma redução nas precipitações, enquanto durante eventos La Niña, pode ocorrer um aumento. A combinação desses fenômenos climáticos globais com fatores locais, como o uso e a cobertura da terra, a topografia e a vegetação, influencia o clima da região.

Por causa das variações de relevo e altitude, ente 250m a 880m, o Parque apresenta uma rica biodiversidade (Neto et al., 2017), que é refletida por diversas fitofisionomias do Cerrado: matas estacionais decíduais e semidecíduais, também conhecidas como matas de encosta ou de interflúvio, formas do Cerrado *sensu lato*, as florestas ripárias (matas de

galeria), formas de campos sujos e limpos, e os campos rupestres, localizados em afloramentos rochosos que geralmente ocorrem a altitudes superiores a 800 metros (Brasil, 1994 *apud* Pinto & Oliveira-Filho, 1999; Sano et al. (2008). Ressalta-se que as matas de encosta presentes no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães estão associadas principalmente às cabeceiras de rios perenes, como o Coxipó e o Aricá, além de ocuparem áreas de relevo mais acidentado, chegando aos sopés das morrarias com altitudes médias de 300 m (ICMBio, 2009).

O período de estudo abrange os anos de 2003 a 2023, totalizando 21 anos de dados espaciais sobre focos de calor no PNCG e sua zona de amortecimento. A seleção desse intervalo deve-se à disponibilidade de dados georreferenciados fornecidos pelo INPE, que começaram a partir de 2003 e se estendem até 2023, último ano com dados completos para análise dos focos de calor na região.

2.2 Dados utilizados

Para coleta das informações necessárias utilizou-se quatro bases de dados distintas (Tabela 1). O perímetro do Parque foi obtido através do site do ICMBio, já o da ZA, através das coordenadas descritas no Plano de Manejo do PNCG. Os focos de calor são provenientes do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) do INPE utilizando os focos detectados pelo satélite Aqua. Já os dados de uso e cobertura do solo foram elaborados pelo Mapbiomas através do processamento em nuvem realizado no *Google Earth Engine*. Por fim, as normais climatológicas e os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica Convencional (Cuiabá - 83361) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2.2.1 Perímetro do PNCG e de sua ZA

O perímetro do Parque é disponibilizado pelo ICMBio em formato KMZ no endereço eletrônico <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/Cerrado/lista-de-ucs/parna-da-chapada-dos-guimaraes>. Para definir o perímetro da zona de amortecimento, foram utilizados os vértices em coordenadas de latitude e longitude, além das rodovias que limitam a área da zona de amortecimento, disponibilizadas no Plano de Manejo do Parque (2009) com a ferramenta *Google Earth Pro* para georreferenciar cada ponto. Esses pontos foram então convertidos em um polígono no software QGIS, gerando o perímetro de tal área.

2.2.2 Dados de foco de calor

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados fornecidos pelo INPE, disponibilizados por meio do BDQueimadas, acessível online pelo endereço <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Esse banco de dados realiza o monitoramento contínuo de focos de calor em todas as unidades federativas do Brasil, utilizando diversos satélites para coleta de informações. Os registros sobre os focos de calor estão organizados em formato vetorial, com pontos georreferenciados que representam as ocorrências documentadas do fenômeno, possibilitando uma análise detalhada da distribuição espacial e temporal dos incêndios florestais.

Ressalta-se que o estudo optou pela utilização de dados obtidos no período de 2003 a 2023 apenas do satélite Aqua, pois o uso de um único satélite como referência permite identificar tendências espaciais e temporais com maior precisão, minimizando as variabilidades causadas pelo uso de diferentes satélites (INPE, 2024). Outro ponto importante é que os focos de calor não indicam necessariamente a presença de fogo ativo, embora estejam frequentemente associados a áreas onde há fogo (Barbosa, 2010). Vale ressaltar que esses focos não representam medições precisas e absolutas da superfície, sendo apenas indicadores de queima, com seu número diretamente relacionado à extensão do fogo (INPE, 2024).

2.2.3 Dados de uso e cobertura do solo

Para analisar e qualificar os locais de ocorrência dos focos de calor, foram utilizados dados do Projeto Mapbiomas (<https://mapbiomas.org/>), especificamente os dados de uso e cobertura do solo da Coleção v9.0, referentes ao período de 2003 a 2023. A partir desses dados, foi possível quantificar as ocorrências dos focos de calor em cada classe de uso e cobertura do solo, permitindo uma análise espaço-temporal. Esse cruzamento espacial de informações é necessário para discutir a questão dos incêndios florestais dentro e no entorno do PNCG. Ressalta-se que para exportar os dados de uso e cobertura do solo, em formato *Geotiff*, foi utilizado o *script* (<https://brasil.mapbiomas.org/faq/como-faco-para-acessar-os-dados-do-mapbiomas-no-google-earth-engine/>) disponibilizado pelo próprio Mapbiomas na plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

2.2.4 Dados meteorológicos

As variáveis meteorológicas analisadas foram a precipitação (mm), a umidade relativa do ar (%) e a temperatura (°C), assim como foi feito no estudo de Da Cruz Teixeira et al. (2021). Tais variáveis foram obtidas pela estação meteorológica convencional de Cuiabá (83361), esta por sua vez, foi escolhida devido a sua proximidade com a área de estudo. Tais dados foram disponibilizados pelo INMET através do endereço eletrônico <https://bdmep.inmet.gov.br/> em formato CSV. Além disso, foram utilizadas as normais climatológicas (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) da mesma estação (<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/MT/83361>), também em formato CSV, a fim de comparar os dados do período analisado. Destaca-se que foram analisados dados dessas variáveis, pois, para a ocorrência de ignição, é necessária a presença dos três elementos que compõem o triângulo do fogo — oxigênio, calor e combustível — os quais estão diretamente relacionados a essas variáveis. (Heikkilä; Grönqvist; Jurvélius, 2007).

Tabela 1 - Relação das bases de dados e características das informações coletadas para a pesquisa.

Base de dados	Dados exportados	Formato
ICMBio	Perímetro do PNCG	KMZ
ICMBio	Perímetro da ZA do PNCG	KMZ e <i>Shapefile</i>
INPE	Focos de calor	<i>Shapefile</i>
Mapbiomas	Uso e cobertura do solo	TIF
Mapbiomas	Área de uso e cobertura do solo	XLSX
INMET	Dados meteorológicos e normais climatológicas	CSV

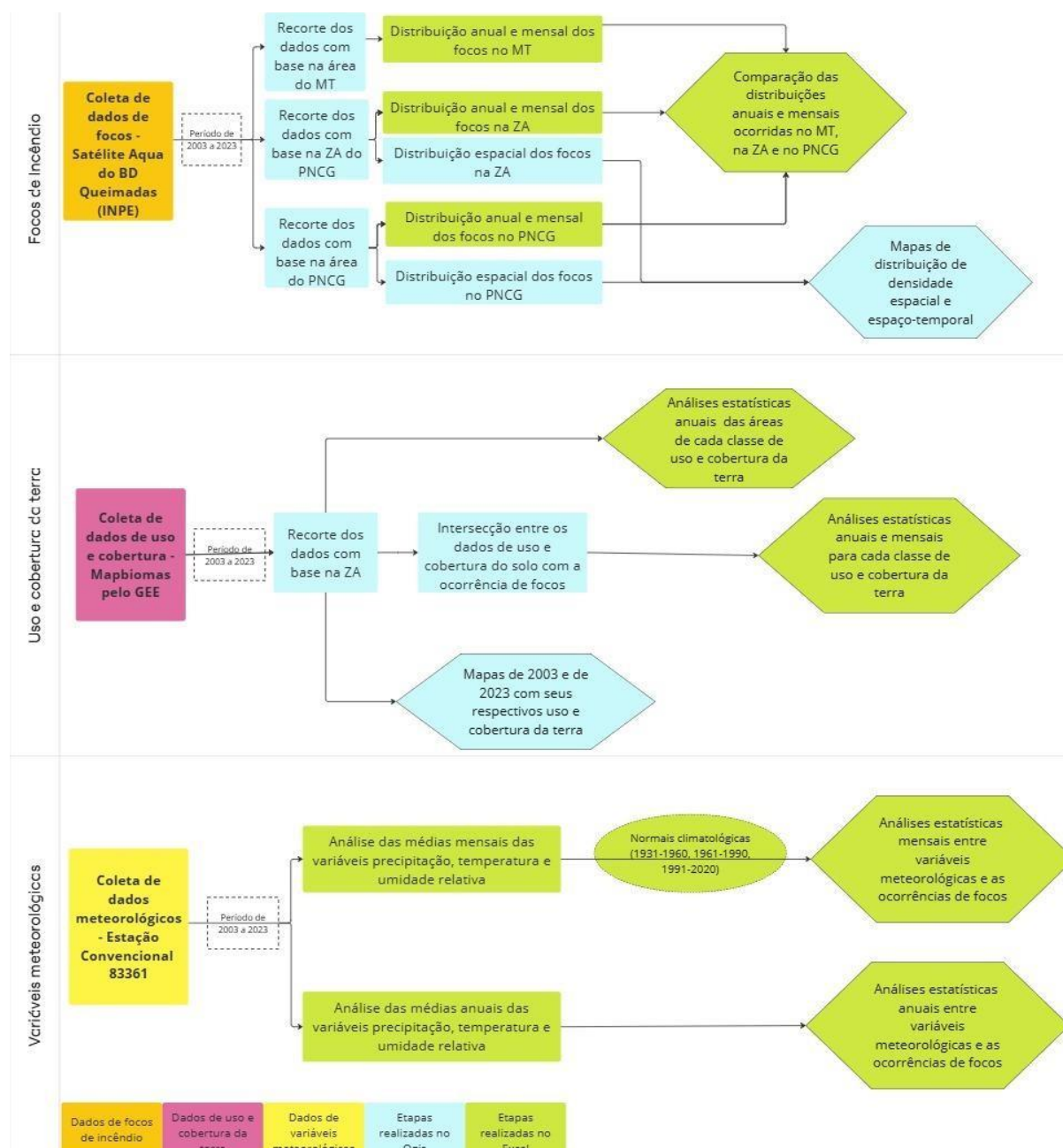
Fonte: Elaboração própria

2.3 Processamento de dados

A análise dos dados foi realizada em quatro etapas. As três primeiras envolvem a obtenção e o processamento dos dados de focos de calor, de uso e cobertura do solo e das variáveis meteorológicas. A última etapa foi o cálculo do Coeficiente de Pearson (R) entre a quantidade de focos de calor e o tamanho das áreas das diferentes classes de uso e ocupação do solo onde esses focos ocorreram. Esse mesmo coeficiente foi calculado entre essa mesma

quantidade de focos e os dados mensais e anuais das variáveis meteorológicas, a fim de analisar a relação linear dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo e de variáveis meteorológicas com a ocorrência de incêndios. Para a execução de todas as etapas de processamento de dados, foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, enquanto o *software* Microsoft Excel, para as análises estatísticas (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Elaboração própria.

2.3.1 Dados de foco de calor

Os dados dos focos obtidos pelo BD Queimadas do INPE correspondem a todo o estado do Mato Grosso, dessa forma, foi necessário filtrar os dados para a área de estudo, a ZA do Parque e o PNCG através da ferramenta de intersecção do QGIS. Além disso, para analisar a distribuição espacial dos focos de calor foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento, disponibilizadas no QGIS, para calcular as densidades de focos em parcelas de 6,25 km² (2,5 km x 2,5 km). Devido à quantidade de 1311 de focos no período analisado e à extensão da área de estudo, bem como à distribuição espacial que concentra os focos principalmente na porção sudoeste da ZA, as parcelas de 6,25 km² possibilitam uma melhor interpretação dos padrões gerais da área de estudo.

Para a análise estatística no *software* Excel, foram considerados três grupos: o PNCG, a ZA e o estado de Mato Grosso, com a análise da distribuição mensal e anual dos focos de calor nessas áreas. Inicialmente, os dados disponibilizados em formato *Shapefile* para cada um desses grupos por ano foram convertidos para o formato XLSX. Em seguida, foram analisados dados anuais, os quais em seguida foram filtrados por mês para identificar a sazonalidade das ocorrências de focos.

2.3.2 Dados de uso e cobertura do solo

As imagens anuais de uso e ocupação do solo foram recortadas com base na feição da ZA diretamente pelo *script* disponibilizado pelo Mapbiomas no Google Earth Engine, utilizando o endereço eletrônico do Mapbiomas: <https://brasil.mapbiomas.org/faq/como-faco-para-acessar-os-dados-do-mapbiomas-no-google-earth-engine/>. Em seguida, foi ajustada a simbologia de cada classe conforme o código hexadecimal de cores e a classificação do Mapbiomas. Então, realizou-se a intersecção anual entre os focos de calor e as camadas de uso e cobertura do solo para identificar a classe de cada ocorrência de incêndio. As tabelas de atributos geradas pela intersecção de dados apresentaram a correspondência dos focos com a identidade de classe de cada uso e ocupação do solo e foram exportadas para o *Excel* para análise posterior. Além disso, para identificar as áreas de mudanças no uso do solo ao longo dos anos, através de ferramentas do QGIS, foram exportados arquivos CSVs com as áreas de cada classe.

2.3.3 Dados meteorológicos

Os dados das variáveis de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foram tratados no Excel. Para temperatura e umidade relativa, foram calculadas as médias anuais, já para a precipitação, o acumulado anual, a fim de se identificar um padrão no regime do fogo. Em seguida, tais dados anuais foram agregados em dados mensais, a fim de analisar o comportamento sazonal de tais variáveis e sua relação com os eventos de fogo. Para avaliar o comportamento dessas variáveis ao longo do período estudado e possíveis variações relevantes, foram utilizadas as normais climatológicas de 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020 da Estação Meteorológica Convencional de Cuiabá (83361) como referência.

2.3.4 Coeficiente de Pearson

No Excel, foram analisadas as áreas de uso e ocupação do solo de cada ano, sendo divididas em grupos de uso antrópico e de cobertura natural, e posteriormente analisou-se a relação estatística entre essas áreas e os focos de calor em diferentes agrupamentos. Para isso, utilizou-se a ferramenta de correlação do Excel, considerando um nível de significância de 95% ($p \leq 0,05$). Essa metodologia foi aplicada com o objetivo de testar a hipótese de que os focos estão relacionados com o tamanho de cada classe de uso e cobertura do solo.

Além de calcular a correlação entre os focos e as diferentes áreas de uso e cobertura do solo, também foram analisadas as correlações entre os focos e as três variáveis meteorológicas selecionadas. A metodologia foi a mesma, utilizou-se a ferramenta de correlação do Excel para avaliar a relação linear entre o acúmulo de focos e cada variável meteorológica.

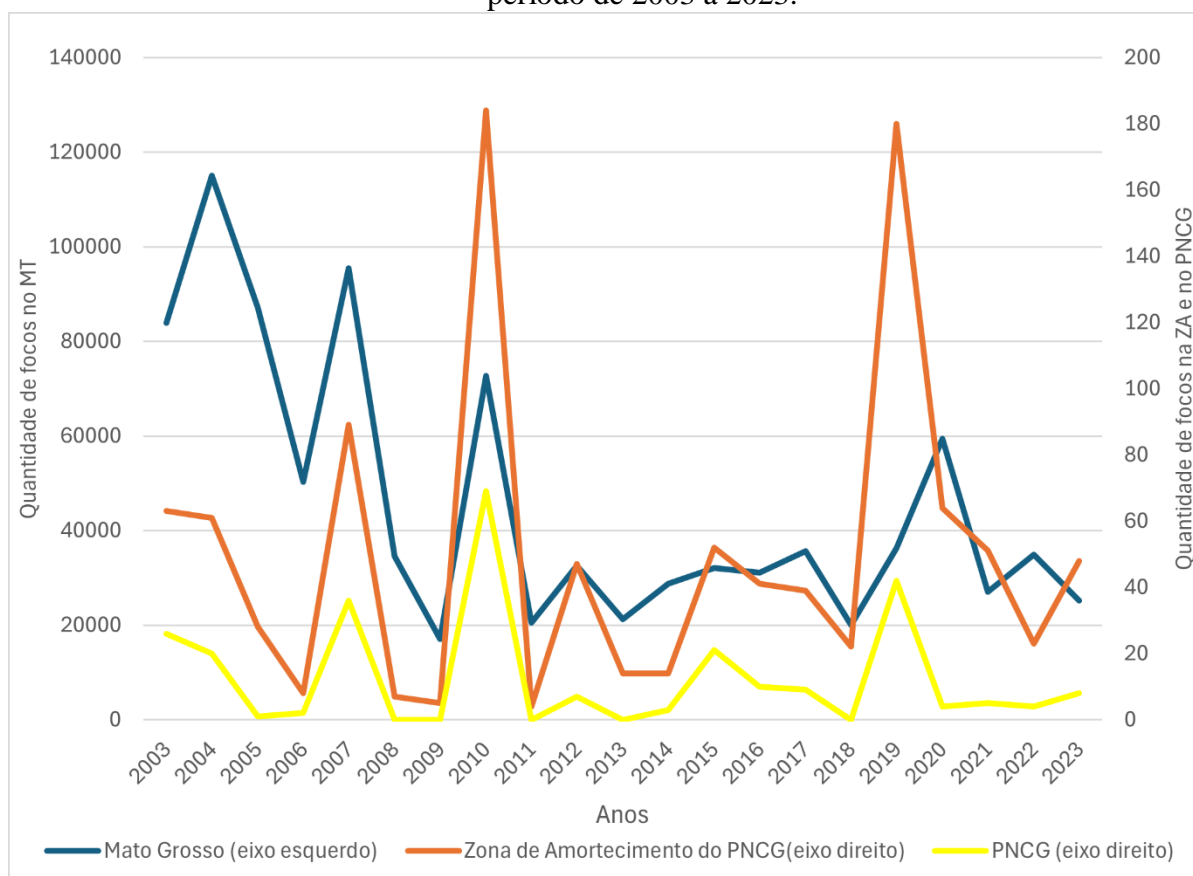
3. Resultados e discussão

3.1 Distribuição temporal dos focos

Ao analisar os eventos de focos de calor entre 2003 e 2023 na Figura 3, é possível notar uma variabilidade decadal no Mato Grosso, na ZA do PNCG e no PNCG. Os picos de focos ocorrerem nas três áreas em 2007, 2010, além disso houve um pico em 2019 no Parque e em seu entorno e um pico posterior em 2020 no Mato Grosso. Em 2007, 2010 e 2019, o número total de focos compreendidos no Parque e em seu entorno, apresentou, respectivamente, aumentos de 100,2%, 305,3% e 255,6% em relação à média do período. Destaca-se, contudo, que no estado do Mato Grosso, o pico ocorreu em 2020 e não em 2019, como na outras duas áreas (Figura 3). Ressalta-se ainda a presença de outros dois picos de menores proporções em 2012 e 2015 na área de estudo (Figura 3). Além disso, observa-se que logo após os picos, em 2008, 2011, 2020 e 2021, há declínios acentuados, o que indica que não houve mais material combustível a ser queimado após os incêndios (ICMBio, 2022a). Segundo Oliveira et al. (2021), a recuperação das cargas de combustível após o incêndio leva, em média, 2,5 anos. Assim, pode-se afirmar que o comportamento das ocorrências de focos segue, de forma geral, um padrão cíclico, caracterizado por anos de grandes acumulações de focos intercalados com períodos de declínio acentuado.

Ressalta-se que 2010, segundo Fidelis et al. (2018), foi um ano extremamente seco, tal condição está relacionada ao índice de Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), que é definido como uma variabilidade climática de baixa frequência, caracterizada por oscilações decadais na temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte (Knight et al., 2006). Além disso, Mengue (2002) destaca que em 2009, o período de estiagem teve uma duração menor, o que resultou em maior acúmulo de biomassa. Assim, a condição de seca em 2010 em conjunto com o acúmulo de biomassa resultou em grandes incêndios no Cerrado (Fidelis et al., 2018). Além disso, em 2007 e em 2019 ocorreram períodos de El Niño (Rocha & Nascimento, 2021; World Meteorological Organization, 2019), que alteram o comportamento da precipitação, diminuindo sua frequência, além de aumentar a temperatura (Berenguer et al., 2021; Universidade de São Paulo, 2024). Tais mudanças propiciam a maior ocorrência de incêndios em conjunto com o acúmulo de biomassa (Rocha & Nascimento, 2021; ICMBio, 2022a). Portanto, mesmo sendo uma unidade de conservação de proteção integral, é possível afirmar que o Parque é influenciado por eventos climáticos de maior escala, seguindo o mesmo padrão de ocorrência de incêndios observado na sua ZA e no Mato Grosso.

Figura 3 - Gráfico de variação anual dos focos no Mato Grosso e na área de estudo no período de 2003 a 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

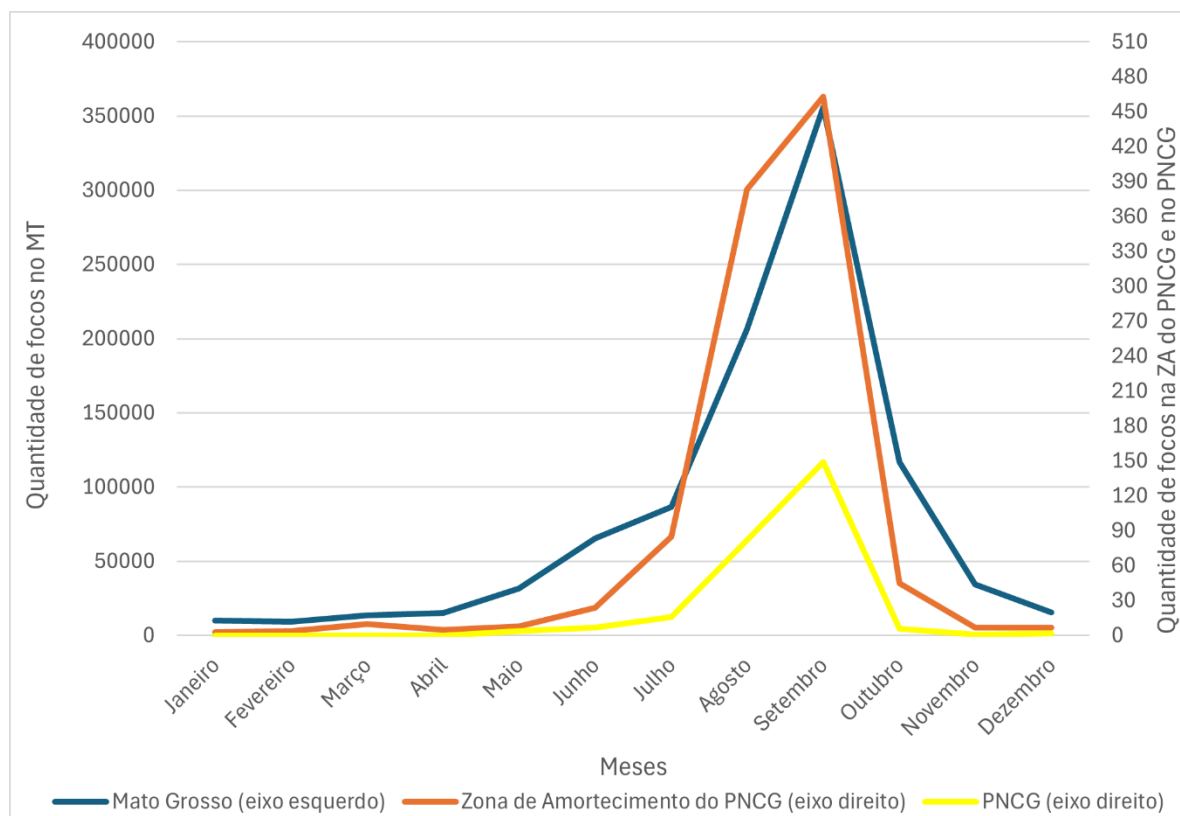
Os resultados encontrados para os picos de 2007 e 2010 (Figura 3) se assemelham com aqueles identificados no estudo de Neto et al. (2017), que analisaram a Fórmula de Monte Alegre (FMA) e quantificaram focos de calor detectados por satélites Aqua, Terra e NOAA, comparando-os com os incêndios ocorridos no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães entre 2007 e 2015. Nesse estudo, foi constatado que em 2007 a quantidade de ocorrências de focos foi 29,6% maior do que a média do período e em 2010, 69,3% maior. Outro pico ocorreu em 2019 na ZA e no PNCG (Figura 3). Esses resultados estão em consonância com o estudo de Mengue (2022), concluindo que, entre 2019 e 2021, houve um aumento significativo no registro de focos de calor no PNCG e sua ZA. No Parque, a média anual passou de 106 para 394 focos, já na ZA, a média aumentou de 393,4 para 1.496 focos.

Destaca-se que o pico de focos de calor registrado em 2019 na ZA e no PNCG não foi observado no estado do Mato Grosso como um todo, onde esse aumento ocorreu apenas em 2020. Entretanto, é possível notar que, em 2019, os focos de calor no estado já apresentavam uma tendência de crescimento, atingindo seu máximo no ano seguinte. Uma possível causa

seria a grande extensão territorial do estado que possui variações significativas em relação ao clima e uso e cobertura do solo entre suas diferentes regiões.

Quanto à evolução mensal dos focos, pode-se observar que os focos se concentram no período seco, principalmente em agosto e setembro nas três áreas, no Mato Grosso, na ZA e no PNCG, já entre novembro e abril, período chuvoso, a quantidade dos focos é menor (Figura 4). Os focos de calor ocorridos em agosto e setembro correspondem a 36,6% e 44,3% do total de focos, respectivamente, registrados na ZA, a quantidade de focos nesses mesmos meses correspondem a 30,7% e 55,8% do total no Parque (Figura 4). Resultados semelhantes foram observados no estudo de Mataveli et al. (2018), que identificaram padrões espaço-temporais de ocorrência de incêndios no Cerrado. Além disso, pesquisas de Machado Neto et al. (2017), que analisaram os incêndios florestais no PNCG entre 2005 e 2014 utilizando dados dos Registros de Ocorrência de Incêndios (ROIs) do Parque; e de Mengue (2022), que também analisou os focos registrados dentro da UC, concluíram que a maior incidência ocorre nos meses de agosto e setembro. Essa sazonalidade de ocorrência de focos sugere estar atrelada às sazonalidades meteorológicas. Durante os meses mais secos, caracterizados por baixas umidade relativa e precipitação, há um aumento na ocorrência de focos.

Figura 4 – Gráfico de variação mensal de focos e temperatura média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

3.2 Relação entre focos e variáveis meteorológicas

3.2.1 Temperatura

A análise temporal dos dados de focos de calor na ZA e no PNCG revela a ocorrência de picos nos anos de 2007, 2010 e 2019 (Figura 5). Tais anos não coincidem com as maiores médias de temperatura registradas. Em 2007 e 2010, as temperaturas médias anuais foram 26°C e 26,4°C, tais valores são, respectivamente, 2,8% e 1,4% inferiores à média do período (Figura 5). Por outro lado, 2019 registrou uma temperatura média anual que é 1,7% acima da média do período e superior à de 2018, indicando uma tendência diferente em relação aos outros anos de pico (Figura 5). Assim, é possível verificar que há uma diferença nas tendências dos focos e sua relação com a temperatura ao longo do período estudado, o que pode indicar uma relação indireta entre o número de focos e as variações anuais de temperatura.

Figura 5- Gráfico de variação anual de focos e temperatura média anual na área de estudo entre 2003 e 2023



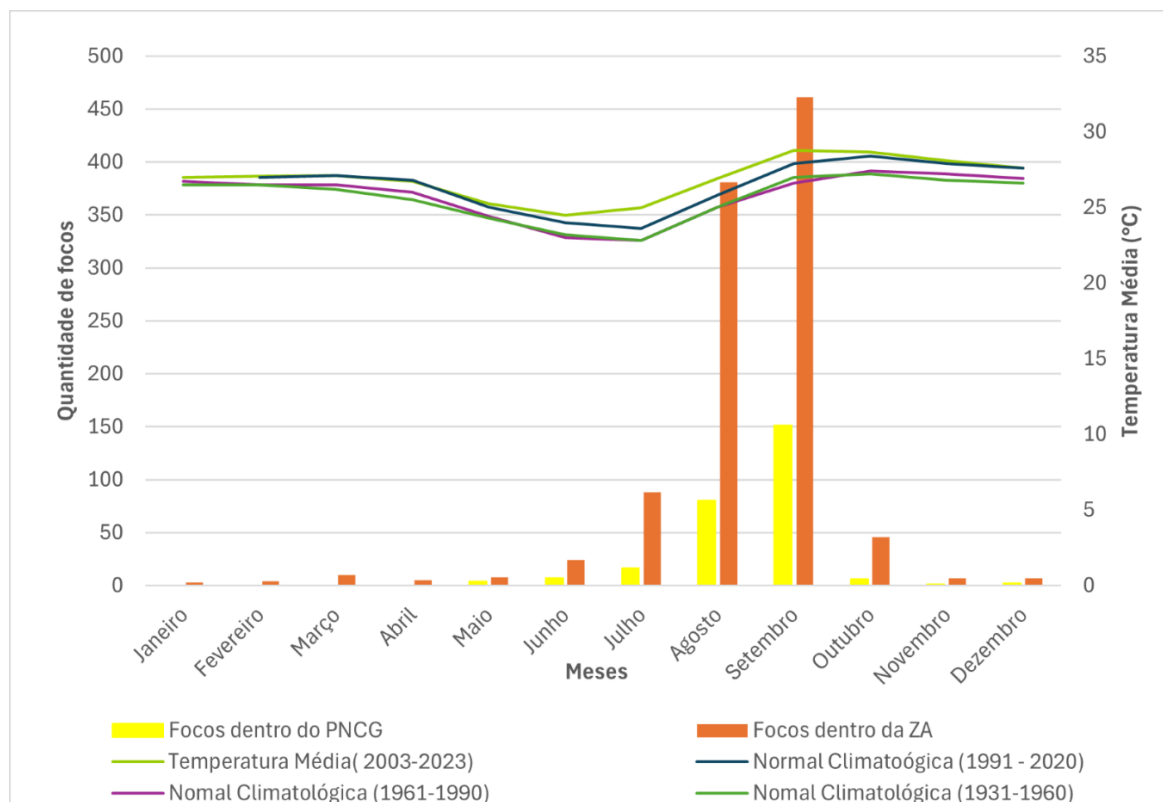
Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

Como indicado na Figura 6, ao longo do ano, a temperatura média mensal tem pouca variação com leve aumento entre julho e outubro, caracterizando um período mais seco, como identificado por Köppen (1948). Durante esse período, na área de estudo, a quantidade

de focos registrada em agosto corresponde a 35,1% do total anual e, em setembro, a 46,6% (Figura 6). Além disso, nesses dois meses, as temperaturas foram 26,8°C e 28,7°C, aumentos de 0,05% e 7%, respectivamente, em relação à média anual (Figura 6). Essa elevação de temperatura associado com as demais variáveis pode aumentar os riscos de incêndio (ICMBio, 2009), uma vez que a tendência de maior temperatura favorece a secagem da vegetação e a intensificação dos focos de calor, aumentando a vulnerabilidade da região ao fogo (Soares & Batista, 2007; Bonora, 2013). Assim, o registro de focos de calor sendo maior em agosto e setembro, no PNCG e em seu entorno indica uma sazonalidade das queimadas, que coincidem com as temperaturas mais altas e a estação seca.

Cabe destacar que a temperatura média entre 2003 e 2023 segue um padrão sazonal similar às normais climatológicas de 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020 (Figura 6). No entanto, a média do período analisado é ligeiramente mais alta nos meses mais secos e quentes, como agosto e setembro. Esse aumento nas temperaturas pode indicar um recente aquecimento na área do Cerrado, conforme evidenciado na pesquisa de Hofmann et al. (2021), que aponta uma tendência de elevação térmica e secas na região.

Figura 6 - Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de temperatura (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) e a média de temperatura entre 2003 e 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

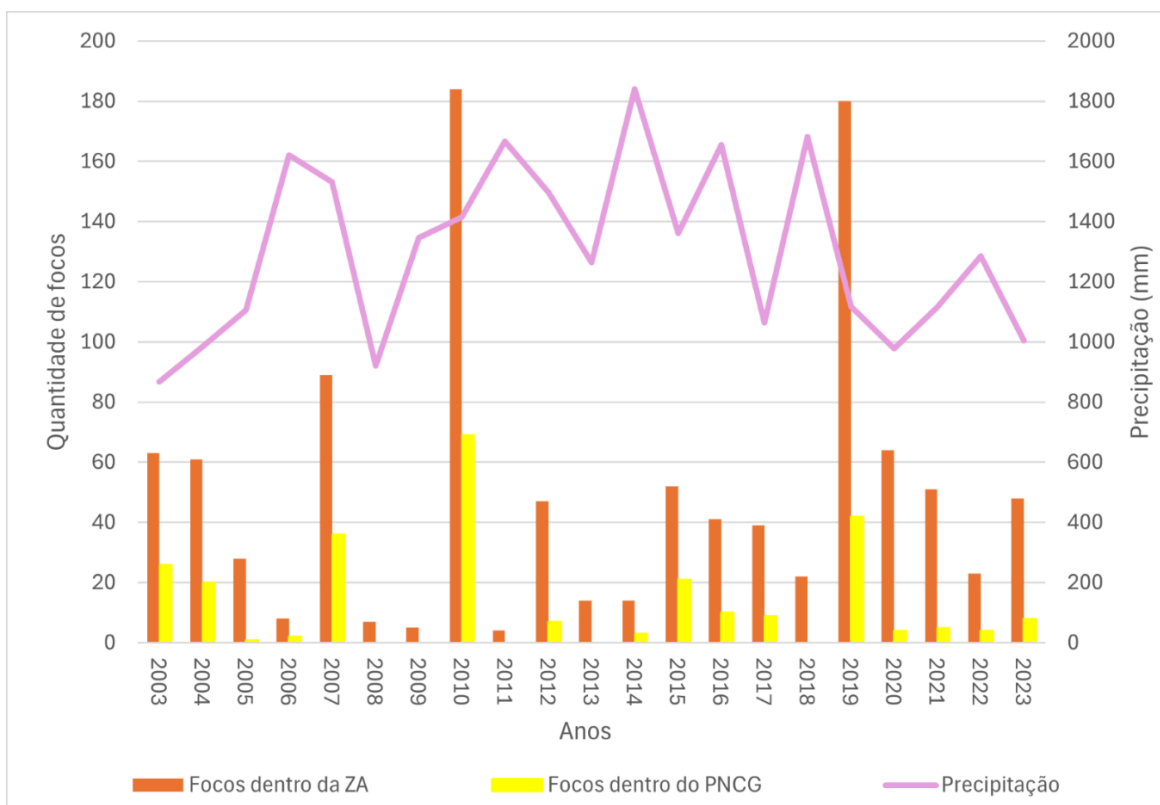
3.2.2 Precipitação

Da Silva Arruda et al. (2024) e Prudente (2016) ressaltam que é necessário considerar a relação entre a sazonalidade mensais e anuais das chuvas com o regime do fogo no Cerrado, que engloba o PNCG, uma vez que o bioma está inserido em um tipo de clima que apresenta uma sazonalidade bem definida em relação à precipitação ao longo do ano, com períodos mais secos durante o inverno e mais chuvosos durante o verão (Eiten, 1972). Assim, durante os períodos chuvosos, há uma maior produção de biomassa, a qual quando seca durante o inverno se torna altamente inflamável (Klink & Solbrig, 1996; Da Silva Arruda et al., 2024).

De forma geral, observa-se que anos com menores valores de precipitação não coincidem com registros de maiores acúmulos de focos (Figura 7). Em adição, como já identificado, os anos de 2007, 2010 e 2019 registraram as maiores ocorrências de focos no período analisado (Figura 7). Em 2007 e 2010, o acúmulo total de precipitação registrou 1531 mm e 1413,8 mm, o que corresponde a um aumento de 15% e 6,8%, respectivamente, em comparação à média do período (Figura 7). Por outro lado, em 2019, o acúmulo de precipitação foi de 1116,7 mm, ou seja, uma diminuição de 16,5% em relação à média anual (Figura 7). Essa variação nos padrões de precipitação e sua relação com os focos nesses três anos sugere que essa relação não é linear.

Além disso, ao analisar a relação entre a ocorrência de focos e precipitação, é relevante considerar também os anos anteriores a esses picos, como 2006, 2009 e 2018, que apresentaram índices de precipitação superiores à média anual (Figura 7). Esse comportamento pode indicar um maior acúmulo de biomassa nesses períodos (Eiten, 1972), que, ao se tornar combustível disponível, contribuiu para o aumento dos focos de calor registrados em 2007, 2010 e 2019.

Figura 7- Gráfico de variação anual de focos e precipitação média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

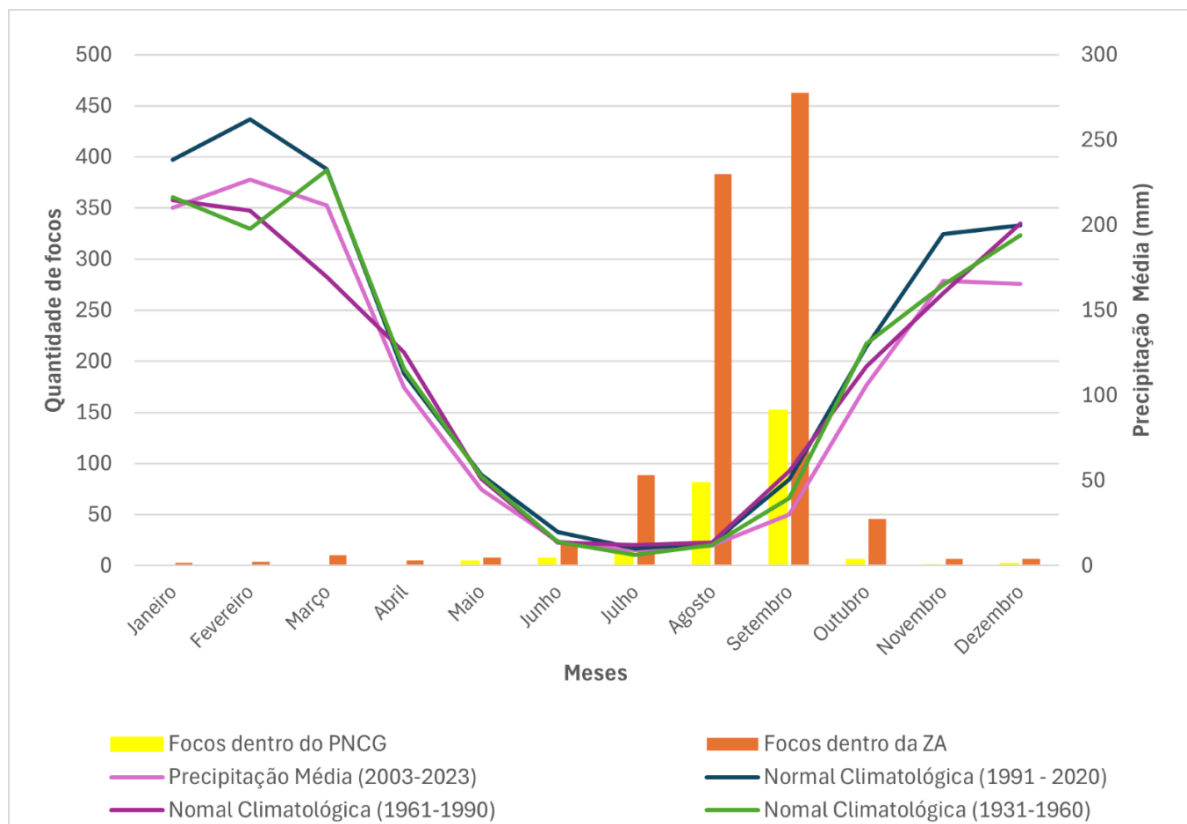
Para o ano de 2010, Mengue (2022) aponta que o período de seca em 2009 foi mais curto, o que permitiu o acúmulo de biomassa no PNCG. Em contrapartida, 2010 apresentou uma estação seca mais longa, favorecendo o aumento dos focos de calor. Nesse mesmo ano, Lemes et al. (2014) relatam que o Parque Nacional da Serra da Canastra também foi severamente afetado pelo fogo. Esse aumento é evidenciado por Pivello (2011), que evidenciou a quantidade de focos por área em unidades de conservação do Cerrado entre 2000 e 2010. Em 2010, a taxa de focos foi de 9 focos por 10.000 hectares, um valor cerca de 94% superior à média do período (Pivello, 2011). Para esse mesmo ano, França (2011) aponta que em unidades como os Parque Nacionais das Emas, do Araguaia, Chapada dos Guimarães e Chapada dos Veadeiros tiveram 91%, 56%, 35% e 77% de suas áreas queimadas, respectivamente.

Quanto à relação entre a precipitação média mensal e a ocorrência de focos de calor, é possível observar que no período de maio a outubro, há uma redução na precipitação média, principalmente entre junho e setembro (Figura 8). Essa diminuição coincide com o período de

maior incidência de focos de calor (Figura 8). De acordo com os dados da Estação Convencional de Cuiabá (83361), no período analisado, os meses de agosto e setembro, que concentram os maiores números de focos de calor, registraram uma precipitação média de 11,6 mm e 29,8 mm, respectivamente (Figura 8). Tais valores são 89% e 75%, respectivamente, menores em relação à média geral do período analisado (Figura 8). A consonância entre o maior acúmulo de focos em agosto e setembro com um dos menores volume de chuvas registrados nesses meses evidencia uma relação linear entre as variações no regime de precipitação e a ocorrência de focos. Entretanto, ressalta-se que em julho foi registrado o menor acúmulo de precipitação e o terceiro mês com maior ocorrência de focos (Figura 8).

Ao comparar o acúmulo de precipitação do período com o das médias históricas, nota-se que para os meses de agosto e setembro, respectivamente, há reduções significativas: 12,1 mm e 39,5 mm (1931-1960), 13,7 mm e 55,5 mm (1961-1990) e 13,2 mm e 50,5 mm (1991-2020), como mostrado na Figura 8. Em relação à normal climatológica 1991-2020, por exemplo, houve uma diminuição de aproximadamente 12,3% em agosto e 40,9 % em setembro, refletindo uma tendência de redução da precipitação e, conseqüentemente, do aumento da vulnerabilidade a incêndios no Cerrado (Figura 8). A diminuição da precipitação nesses meses, quando comparada às normais climatológicas de períodos anteriores, pode indicar que o Cerrado enfrenta uma tendência de clima mais seco, como apontado no estudo de Hofmann et al. (2021).

Figura 8 – Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de precipitação (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) e a média precipitação entre 2003 e 2023.

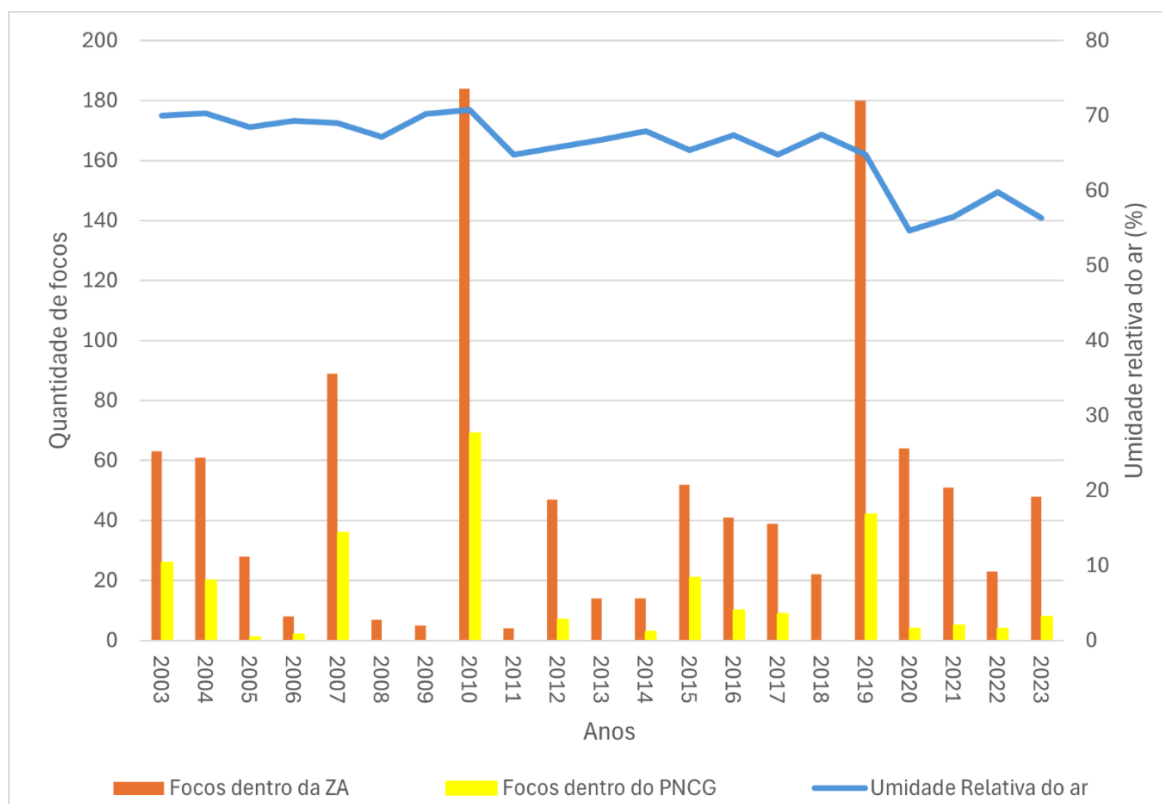


Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

3.2.3 Umidade relativa do ar

Além da temperatura e da precipitação, outra variável analisada foi a umidade relativa do ar. Em 2007, 2010 e 2019, como já observado, foram registradas as maiores ocorrências de focos (Figura 9). Os anos de 2007 e 2010 apresentaram, respectivamente, umidades relativas 5% e 7% acima da média anual do período, já 2019, 1,3% abaixo (Figura 9). Assim como observado nas outras duas variáveis, essa diferença nos padrões de umidade relativa nesses três anos podem indicar que a relação entre umidade relativa e ocorrência de focos de calor não é linear. Ressalta-se ainda que a umidade relativa possui uma tendência de diminuição, principalmente nos últimos 5 anos, como apontado por Hofmann et al. (2021).

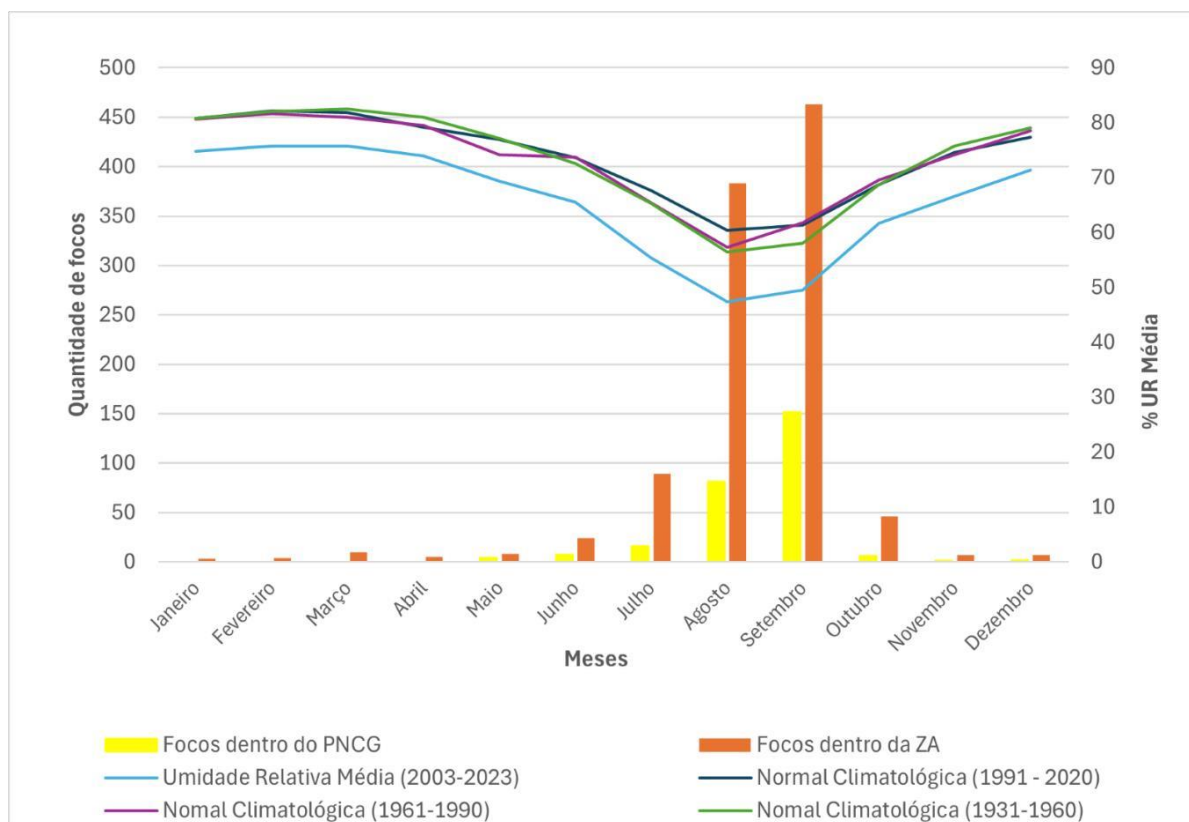
Figura 9 – Gráfico de variação anual de focos e umidade relativa do ar média anual na área de estudo entre 2003 e 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

A partir da Figura 10, observa-se que os picos de focos coincidem com os meses de menor umidade relativa. Os meses com menor umidade relativa do ar, como agosto (47,4%) e setembro (49,5%), apresentaram os maiores picos de focos, com valores 38,3% e 32,4% inferiores à média anual, respectivamente (Figura 10). Isso indica uma relação inversa, quanto maior a susceptibilidade à combustão devido à secura do ar, menor será a umidade relativa do ar. Além disso, ressalta-se que nesses períodos de baixa umidade, as plantas perdem umidade rapidamente devido ao aumento da evapotranspiração, o que reduz a reposição de água nos tecidos vegetais, tornando-as mais inflamáveis (Prudente, 2016; Silva et al., 2003).

Figura 10 – Gráfico de média mensal do acúmulo de focos entre 2003 e 2023, as normais climatológicas de umidade relativa do ar (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020) e a média de umidade relativa entre 2003 e 2023.



Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria

O comportamento sazonal da umidade relativa do ar do período de 2003 a 2023 segue o padrão observado das normais climatológicas, com valores mais baixos no inverno e mais altos no verão (Figura 10). No entanto, observa-se que a umidade relativa durante o período analisado é inferior à das normais climatológicas, o que sugere um aumento da aridez no Cerrado, como apontado por Hofmann et al. (2021), o que pode aumentar a ocorrência dos focos (Prudente, 2016).

3.2.4 Coeficiente de Pearson

A Figura 3 evidencia que os focos de calor no Mato Grosso, no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e em seu entorno seguem um padrão cíclico, com picos mais expressivos em 2007, 2010 e 2019, e picos menores em 2012 e 2015, intercalados por anos de queda acentuada. Esses intervalos entre os picos sugerem períodos necessários para o acúmulo de biomassa, que é consumida em anos de maior incidência de incêndios (Oliveira et al., 2021). No entanto, ao analisar a Figura 5, observa-se que, nos anos de picos, não houve

um aumento significativo de temperatura que permita associar diretamente o aumento dos focos, analisados de forma interanual, ao aumento de tal variável. A inexistência de tal relação é confirmada pela baixa correlação observada entre os dados anuais de temperatura e o número de focos ($R = -0,02$) (Tabela 2).

Em relação à precipitação, verifica-se que nos anos de maiores picos de incêndios, como 2007, 2010 e 2019, o acumulado de chuva foi acima da média do período em 2007 e 2010, mas abaixo da média em 2019 (Figura 7). Esses resultados indicam que não há uma relação linear entre a precipitação e os picos de focos de calor interanuais, o que é reforçado pela fraca correlação encontrada para o período analisado ($R = -0,16$) (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados por Conciani et al. (2021), que analisaram a interação entre humanos, clima e fogo em unidades de conservação do bioma Cerrado no estado de São Paulo e identificaram uma correlação muito fraca entre precipitação anual e área total queimada.

Quanto à umidade relativa, os anos de pico de incêndios apresentaram comportamentos distintos: enquanto 2007 e 2010 registraram umidades relativas acima da média anual, em 2019, a umidade foi inferior à média (Figura 9). Assim como nas outras variáveis analisadas, não se identifica uma relação forte entre a umidade relativa e a ocorrência de focos de calor interanuais. Esse padrão é confirmado pelo baixo coeficiente de correlação encontrado ($R = 0,11$) (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as variáveis meteorológicas interanuais na área de estudo de 2003 a 2023.

Variáveis Meteorológicas	R	p
Temperatura	-0,020344937	0,9302
Precipitação	-0,159729717	0,4891
Umidade Relativa	0,107865022	0,6416

Em que: R = Coeficiente de Pearson; p = Valor p de significância estatística a 95%.

Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

Em contrapartida às análises anuais, as análises das relações entre os dados mensais de tais variáveis com a ocorrência de focos mostram uma maior correlação. Conforme mostram as Figura 8 e Figura 10, os focos de calor estão concentrados principalmente no período seco, entre os meses de maio e outubro, com destaque para os picos em setembro,

evidenciando um padrão sazonal na ocorrência de focos. Durante os períodos de maior pluviosidade e umidade relativa do ar, ocorre o acúmulo de biomassa, a qual, nos meses de estiagem, sofre secagem e se torna altamente inflamável (Da Silva Arruda et al., 2024).

A Figura 6 mostra que, em agosto e setembro, meses com maior ocorrência de focos de calor, há um aumento na temperatura, embora pouco expressivo. Esse comportamento é refletido pela fraca correlação entre a temperatura e as ocorrências de focos, com um coeficiente de $R = 0,318$ pouco significativo estatisticamente ($p = 0,31$) (Tabela 3). Isso indica que o aumento na incidência de focos não pode ser atribuído exclusivamente à elevação da temperatura, mas sim a um conjunto de variáveis que influenciam esse fenômeno.

Em relação à precipitação, observa-se que o período entre maio e outubro apresenta os menores acumulados anuais, com destaque para os meses de julho e agosto, que registram as menores médias de precipitação dentro desse intervalo (Figura 8). A Tabela 3 indica uma correlação negativa de grau médio entre precipitação e ocorrência de focos ($R = -0,5416$). Embora a tendência seja de menor ocorrência de focos em meses mais chuvosos, tal correlação não é estatisticamente significativa ($p = 0,06$) (Tabela 3), indicando que outros fatores podem estar influenciando a ocorrência de focos além da precipitação. Essa observação é parcialmente corroborada por Conciani et al. (2021), que apontam a influência da divisão sazonal das chuvas na umidade do combustível.

A variável umidade relativa segue um padrão semelhante ao da precipitação, entre maio e outubro, seus valores são mais baixos, enquanto nos outros meses aumentam (Figura 10). É importante ressaltar que agosto e setembro, os meses com maior ocorrência de focos, também apresentaram as menores umidades do ano. Como resultado, a correlação entre essas duas variáveis foi forte ($R = -0,84$, $p = 0,0005$) (Tabela 3), indicando que quanto menor a umidade relativa, maior o número de focos registrados. O resultado de que as ocorrências de incêndios estão mais correlacionadas com a umidade relativa em comparação com a precipitação foi similar ao encontrado por Torres et al. (2011), que analisaram a correlação de variáveis como precipitação, insolação, umidade relativa, temperatura, entre outras com a ocorrência de incêndios em Juiz de Fora (MG).

Nunes et al. (2005) ressaltam que a umidade relativa do ar é essencial na ocorrência de incêndios florestais, uma vez que influencia diretamente a capacidade de ignição e propagação do fogo. A troca de umidade entre o ar e os combustíveis florestais,

especialmente os mortos, determina o grau de secagem da vegetação e, consequentemente, sua vulnerabilidade ao fogo (Nunes et al., 2005). Por outro lado, como apontado por Sampaio (1991), o impacto da precipitação na ocorrência de incêndios não é imediato, pois a influência do déficit hídrico na vegetação também não é instantânea. Segundo Torres et al. (2011), isso ocorre porque no início de um período de estiagem, o solo ainda retém umidade, que é gradualmente transferida para a vegetação, retardando o início dos incêndios. No entanto, no final da seca, mesmo com o retorno das chuvas, o sistema requer tempo para se reidratar completamente, por isso, incêndios podem continuar pela falta de umidade nos combustíveis (Torres et al., 2011). Por essa razão, pode-se concluir que o tempo de resposta do sistema à variação na precipitação explica a razão do pico de incêndios ocorrer em agosto e setembro, mas não em julho. Em agosto e setembro, meses que apresentam baixa precipitação, mas com um comportamento crescente (Figura 8), a combinação de um período de seca prolongado e o início da recuperação hídrica cria condições ideais para a ocorrência de incêndios. Já em julho, mês com menor quantidade de chuva (Figura 8), o sistema pode estar em um estado de equilíbrio, com a vegetação quase seca, o que pode reduzir a suscetibilidade aos incêndios.

Tabela 3 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as variáveis meteorológicas separadas mensalmente na área de estudo de 2003 a 2023.

Variáveis Meteorológicas	R	p
Temperatura	0,31813	0,3135
Precipitação	-0,5416	0,0689
Umidade Relativa	-0,8453	0,0005

Em que: R = Coeficiente de Pearson; p = Valor p de significância estatística a 95%.

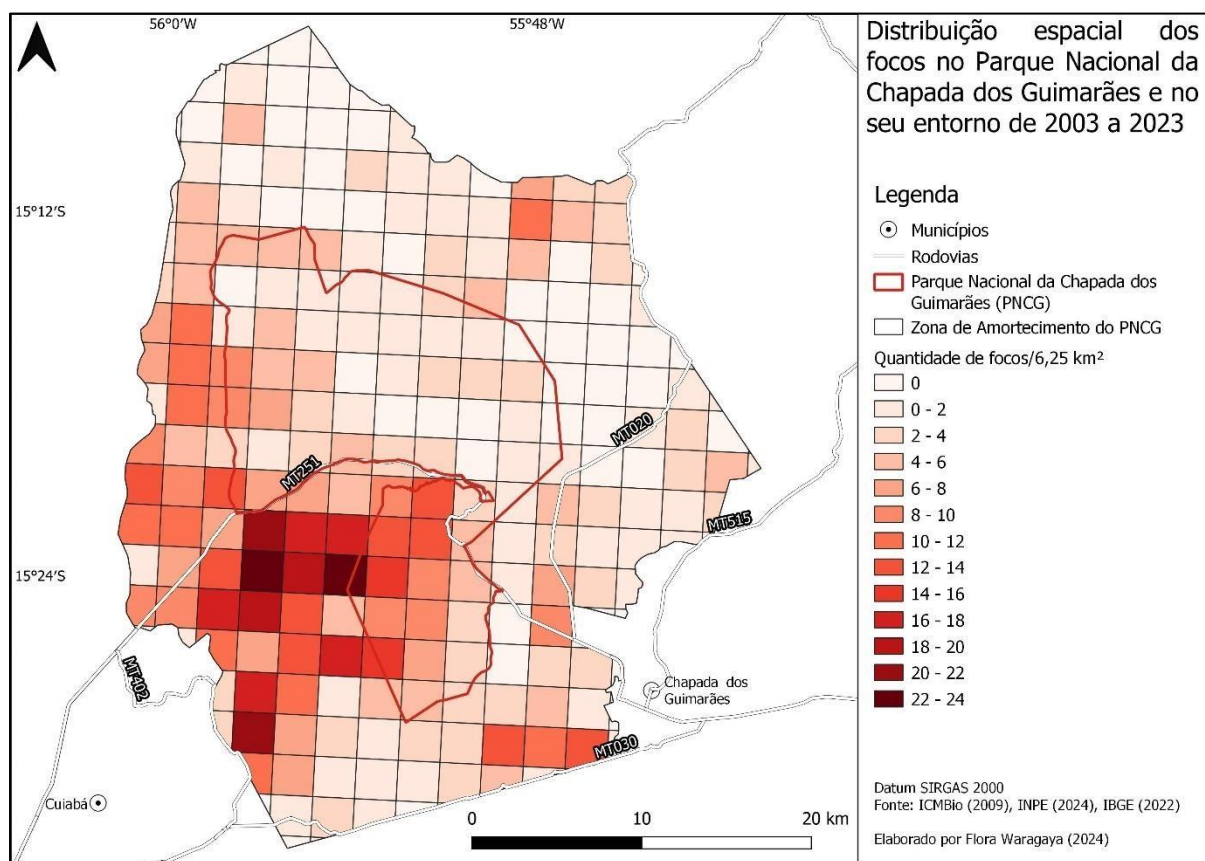
Fonte: INPE, INMET. Elaboração própria.

Assim, é possível afirmar que enquanto as variáveis meteorológicas anuais têm uma correlação fraca com os focos de calor, a análise mensal revela uma influência mais evidente, com a umidade relativa sendo importante para a ocorrência de incêndios, especialmente durante a estação seca. Isso indica que os fatores meteorológicos mais influentes no comportamento do fogo no Cerrado estão possivelmente mais relacionados a variações sazonais e não tanto às condições anuais médias.

3.3 Distribuição espacial dos focos

Ao longo do período analisado, observa-se que os focos de calor se concentram principalmente nas regiões sul e sudoeste da ZA (Figura 11), um padrão observado também por França (2010), que utilizou imagens de satélite para quantificar as queimadas ocorridas durante a estação seca de 2010 em Parques Nacionais voltados à proteção do Cerrado; e por Mengue (2022), que analisou a espacialização, quantificação e qualificação dos registros de focos de calor dentro e nos arredores do PNCG entre 2002 e 2021, relacionando as ocorrências de focos com variáveis meteorológicas, questões de uso e cobertura do solo e fundiárias.

Figura 11 - Mapa de distribuição espacial da densidade de focos/ 6,25 km² na área de estudo de 2003 a 2023.



Fonte: ICMBio, IBGE, INPE. Elaboração própria.

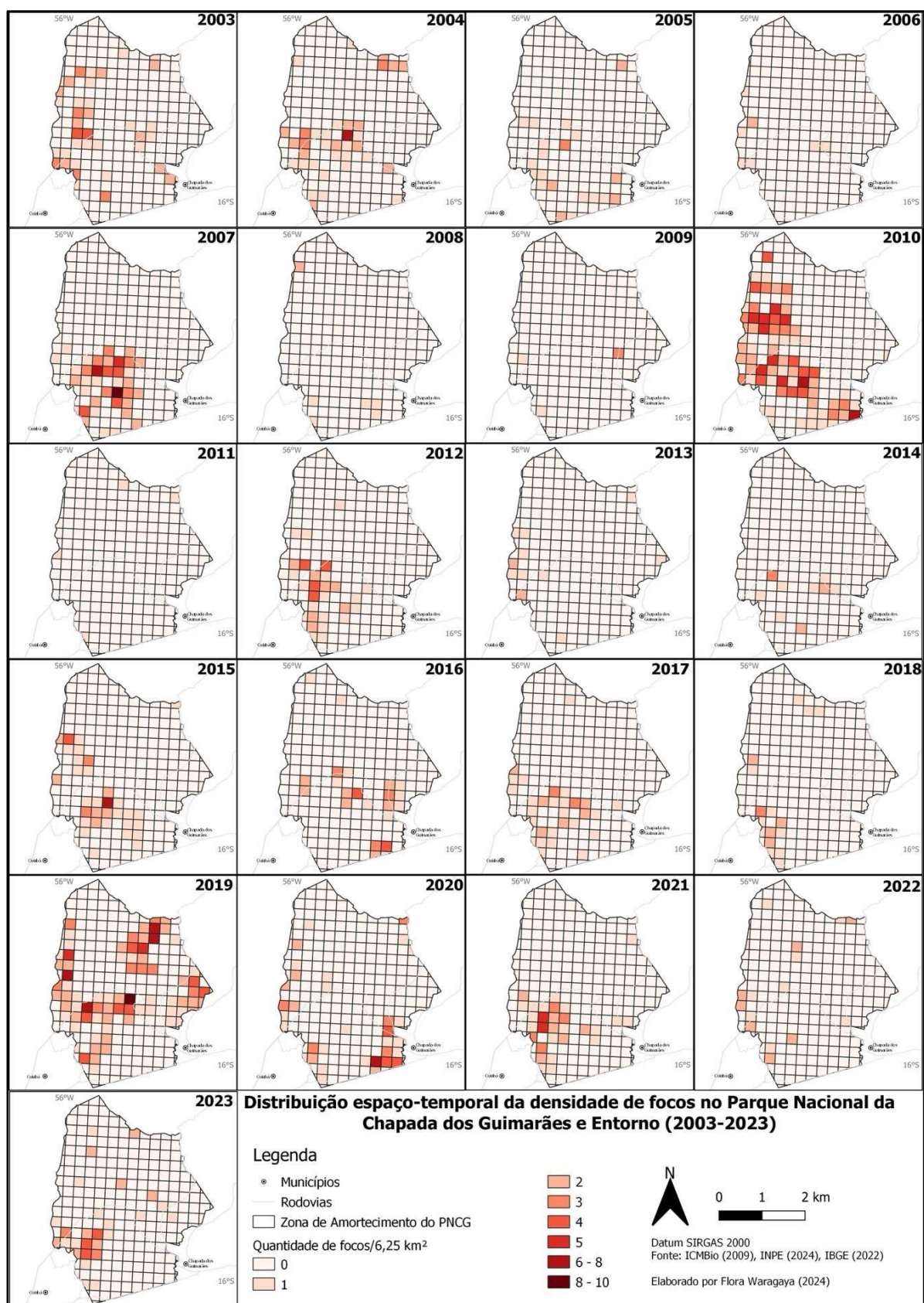
Uma possível explicação para tal distribuição espacial é a presença da Rodovia MT-251, que atravessa a ZA em direção leste-oeste (Figura 11). Conforme descrito no Plano de Manejo do PNCG (2009), o acúmulo de capim nas margens da rodovia frequentemente leva pedestres e ciclistas a atear fogo para facilitar a passagem. Além disso, embora a rodovia

desempenhe um papel importante ao permitir a rápida mobilidade das brigadas de incêndio para o combate às chamas, ela também facilita o acesso de vândalos, que ateam fogo em áreas interditadas do Parque (ICMBio, 2009). Mengue (2022) ressalta ainda que a região sul da ZA está mais próxima da capital mato-grossense, onde a maior proximidade resulta em um aumento na quantidade de sítios e chácaras. Conforme indicado no Plano de Manejo do PNCG (2009), nesses locais, o fogo é frequentemente utilizado para queima de lixo e limpeza de terrenos, muitas vezes sem os devidos cuidados para evitar a propagação, o que pode contribuir para a concentração de focos de calor nessa área.

Embora os focos de calor tenham se concentrado nas regiões sul e sudoeste da ZA ao longo do período analisado, é importante destacar algumas exceções. Em anos com picos de ocorrências, como 2010 e 2019, a distribuição espacial apresentou variações, em 2010, os focos se distribuíram no sentido noroeste-sudoeste, enquanto em 2019 a concentração seguiu o eixo nordeste-sudoeste (Figura 12). Observa-se que em períodos de picos, os focos além de estarem na porção sudoeste, estão distribuídos nas porções noroeste e nordeste (Figura 12), onde predominam pastagens e formações savânicas compostas por gramíneas, que são altamente inflamáveis (Ramalho et al., 2024; Trindade et al., 2008).

Além disso, como indicado na Figura 12, nos anos anteriores a esses picos, como 2009 e 2018, a distribuição espacial dos focos apresentou padrões diferentes. Em 2009, os focos se concentraram principalmente na região sudeste, enquanto a porção noroeste-sudoeste praticamente não registrou queimadas (Figura 12), o que pode ter favorecido o acúmulo de biomassa nessa porção que foi queimada em 2010. Além disso, em 2018, a maior ocorrência de focos foi registrada no extremo sudoeste, onde não apresentou uma concentração tão elevada de focos em 2019 (Figura 12), possivelmente por causa da ausência de biomassa disponível para queimar, já consumida pelos incêndios do ano anterior.

Figura 12 - Mapa de distribuição espaço-temporal da densidade de focos/ 6,25 km² na área de estudo de 2003 a 2023.



Fonte: ICMBio, IBGE, INPE. Elaboração própria.

3.4 Evolução das classes de usos e cobertura do solo

Os tipos de uso e cobertura do solo classificados pelo Mapbiomas foram filtrados para esta monografia, considerando apenas aqueles presentes na ZA. Entre os tipos selecionados estão: formação savânica, formação florestal, silvicultura, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, lavoura temporária de soja e outras lavouras temporárias. Destaca-se que, tanto dentro do Parque quanto em seu entorno, foram identificadas áreas classificadas como "rio, lago e oceano". No entanto, essas áreas não serão analisadas neste estudo, devido à sua baixa variabilidade de área ao longo do período avaliado e à ausência de registros de focos de calor nessas localidades.

Ressalta-se que esses usos foram organizados em dois grupos, usos antrópicos e usos naturais, a fim de analisar o comportamento durante o período analisado (Figura 13). O grupo de usos antrópicos inclui: silvicultura, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, lavoura temporária de soja e outras lavouras temporárias. Já o grupo de usos naturais é composto por formação savânica, formação florestal, campo alagado e área pantanosa e formação campestre.

Tabela 4 – Área e proporção das classes de uso e cobertura do solo na área de estudo entre 2003 e 2023

	Cobertura natural	Uso antrópico	Formação savânica	Formação florestal	Campos alagados e área pantanosa	Formação Campestre	Silvicultura	Pastagem	Mosaico de usos	Outras áreas não vegetadas	Áreas urbanizadas	Lavouras temporárias de soja	Outras lavouras temporárias
Área 2003	90.158,2 ha (75,48%)	29.368 ha (24,52%)	74.722,4 ha (62,56%)	14.819,7 ha (12,41%)	610,4 ha (0,51%)	5,6 ha (0,005%)	1,03 ha (0,001%) ¹	27.449,5 ha (22,98%)	919,7 ha (0,77%)	662,2 ha (0,55%)	135,8 ha (0,07%)	118,4 ha (0,11%)	82,1 ha (0,1%)
Área 2023	87.522,5 ha (73,27%)	32.003,7 ha (26,69%)	71.140,4 ha (59,58%)	15.321,5 ha (12,83%)	855,4 ha (0,72%)	205,1 ha (0,17%)	269,9 ha (0,23%)	28.559,7 ha (23,92%)	1.047,6 ha (0,87%)	1543,5 ha (1,29%)	283 ha (0,09%)	186,69 ha (0,24%)	113,1 ha (0,16%)
Variação	-2,94%	8,87%	-4,76%	3,42%	39,63%	3.502,46%	25.959% ¹	4,08%	13,62%	132,86%	37,85%	108,44%	57,64%
Área média	88.136,8 ha (73,79%)	31.389,5 ha (26,2%)	72.531,2 ha (60,71%)	14.869 ha (12,43%)	711,1 ha (0,6%)	25,3 ha (0,02%)	142,2 ha (0,12%)	29.404 ha (24,60%)	860,9 ha (0,71%)	629,5 ha (0,53%)	88,4 ha (0,08%)	164,9 ha (0,07%)	99,3 ha (0,13%)

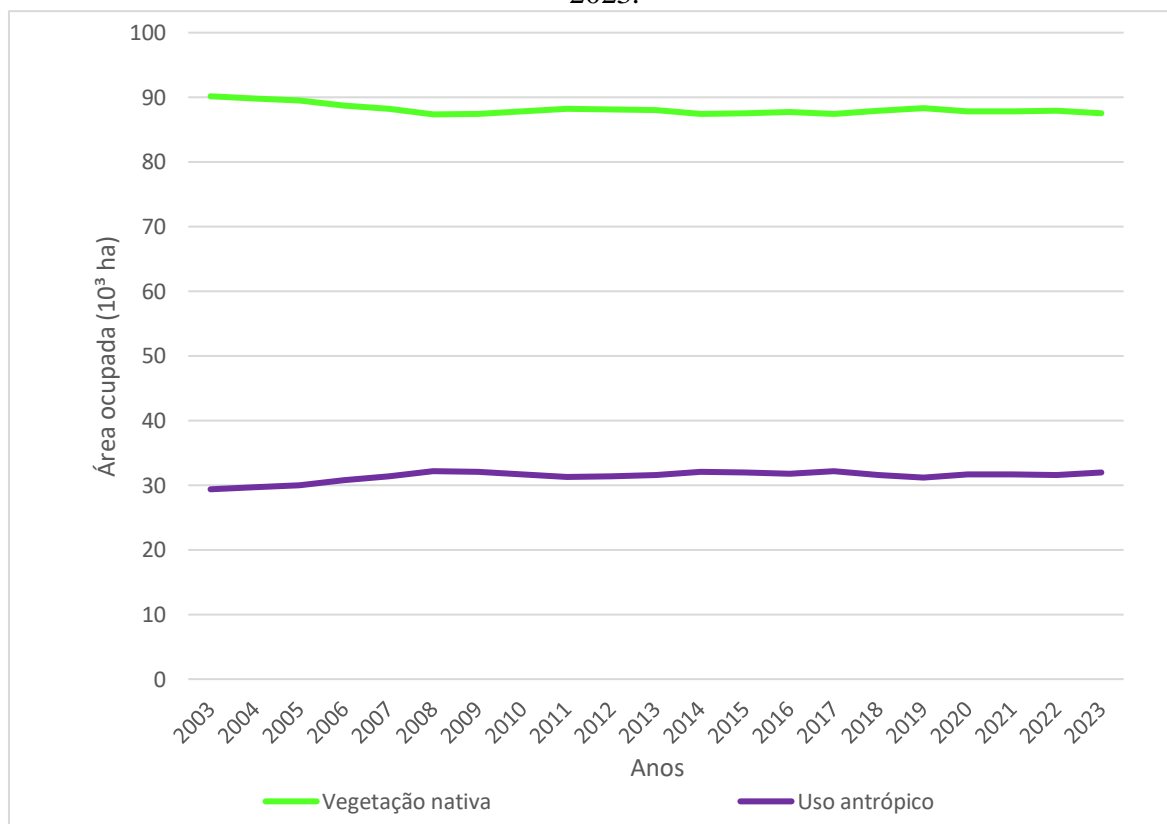
Fonte: Mapbiomas. Elaboração própria.

¹ Referente à área ocupada em 2004, ano em que a silvicultura foi introduzida.

Por se tratar de um Parque Nacional e do seu entorno, que têm como objetivo a preservação da biodiversidade, a maior parte da área de estudo é composta por coberturas naturais, representando 73,8% do total, enquanto as áreas de uso antrópico correspondem a cerca de 26% (Tabela 4). Ao longo do período analisado (2003-2023) (Figura 13), observa-se que as variações nessas proporções foram pouco expressivas. A área de vegetação nativa apresentou uma variação de apenas 3% entre o maior e o menor valor registrado, enquanto as áreas de uso antrópico apresentaram uma variação ligeiramente maior, de 9% (Figura 13). Essa oscilação pouco expressiva pode ser atribuída ao fato de os Parques Nacionais serem classificados como Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPI), que têm como finalidade a "manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais" (BRASIL, 2000), por essa razão, as regras e normas são restritivas e regulamentadas por um Plano de Manejo específico para cada unidade.

Adicionalmente, as zonas de amortecimento, que são áreas ao entorno das UCs, também estão sujeitas a restrições específicas, sendo estas menos rigorosas do que das unidades de proteção integral, permitindo atividades compatíveis com a conservação da natureza (BRASIL, 2010). Nota-se ainda que a área do Parque é composta majoritariamente por vegetação nativa, apresentando apenas pequenas áreas classificadas pelo Mapbiomas como de uso antrópico (Figura 15). Já na ZA, são identificadas além da vegetação nativa que compõe a maior parte dessa área, áreas com uso antrópico como silvicultura, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, lavoura temporária de soja e outras lavouras temporárias (Figura 15).

Figura 13 - Gráfico da evolução do uso e cobertura do solo na área de estudo de 2003 a 2023.



Fonte: MapBiomias. Elaboração própria.

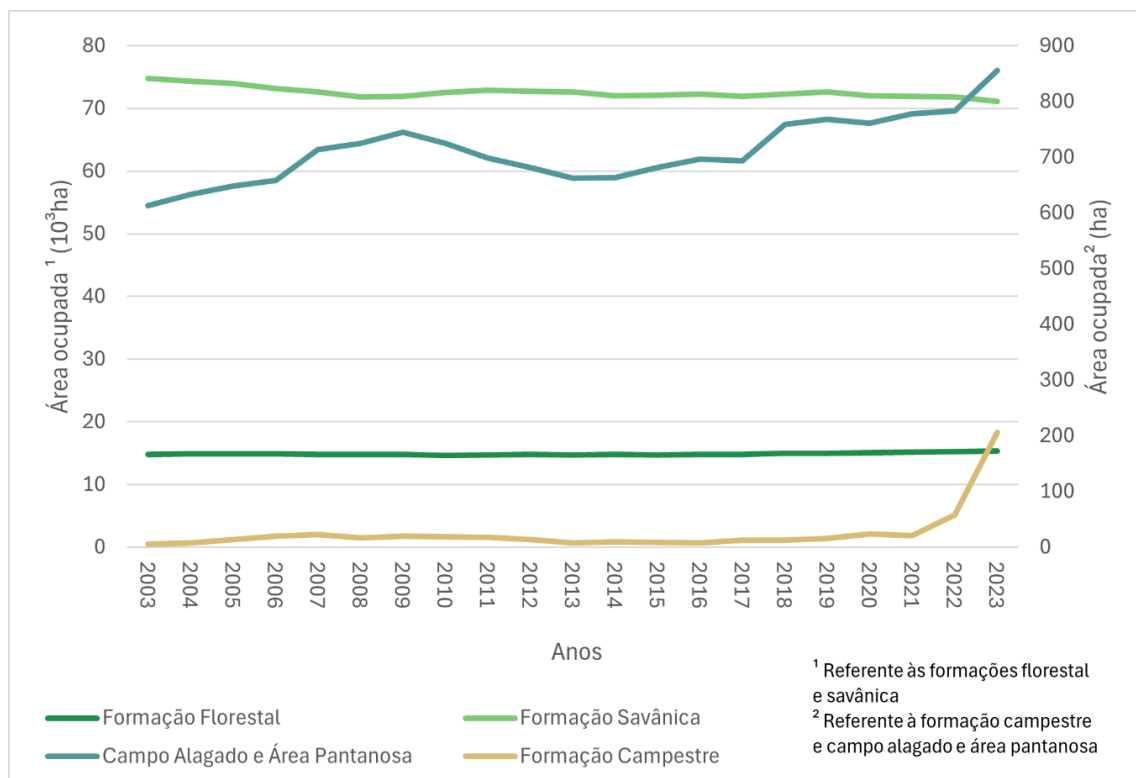
Contudo, por mais que não tenha ocorrido mudanças significativas nas áreas de vegetação nativa e de uso antrópico, nota-se que a área ocupada por uso antrópico apresentou um pequeno crescimento gradual ao longo do período analisado, enquanto a área ocupada por vegetação natural apresentou uma tendência levemente decrescente. Entre 2003 e 2007, destaca-se uma trajetória contínua de queda na vegetação nativa, acompanhada por um aumento constante na área de uso antrópico, que atingem seus pontos máximos em 2008.

Além disso, ao analisar a evolução das áreas de vegetação nativa do Cerrado dentro da ZA e do PNCG (Figura 15), observa-se que, em média, 60,9% da área de estudo é ocupada por Formação Savânica, esta por sua vez abrange, segundo Santos et al. (2020), as fitofisionomias vereda, Cerrado stricto sensu, campo Cerrado e Cerrado rupestre. Enquanto 12,43%, em média, correspondem à formação florestal, composta, conforme os mesmos autores (2020), por matas secas, cerradão, mata de galeria e mata ciliar (Tabela 4). A classe campos alagados e área pantanosa, que é caracterizada como uma vegetação dominada por estrato herbáceo, que está sujeita a alagamentos sazonais ou influenciada por ambientes fluviais e lacustres (Mapbiomas, 2024), e a classe formação campestre, sendo esta formada por Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre (Santos et al, 2020), são pouco

expressivos no conjunto, representando 0,6% e 0,02% da área de estudo, respectivamente (Tabela 4).

Pode-se observar que as formações vegetais predominantes na área de estudo apresentaram pouca variação ao longo do período analisado (Figura 14). As áreas de formação florestal mantiveram-se praticamente constantes, com um aumento de apenas 3% entre 2003 e 2023 (Figura 14). Ao comparar os mapas de uso e cobertura do solo de 2003 e 2023, destaca-se um aumento dessa vegetação na porção sudeste da ZA, possivelmente sendo um resultado de ações conservacionistas do ICMBio (Figura 15). Por outro lado, as áreas de formação savânica apresentaram uma diminuição contínua (Figura 14), de forma que ao comparar a área de tal classe em 2003 com a de 2023, observou-se um decréscimo de aproximadamente 5% (Tabela 4). A análise dos mapas de uso e cobertura revela que, na porção sudoeste da ZA, houve a conversão de formação savânica para pastagem (Figura 15). Uma possível explicação é que nas porções sudoeste e leste da ZA, como mencionado por Mengue (2022), há loteamentos de imóveis rurais que possivelmente serão utilizadas para atividades agropecuárias.

Figura 14 - Gráfico da evolução das coberturas de vegetação nativa na área de estudo de 2003 a 2023.

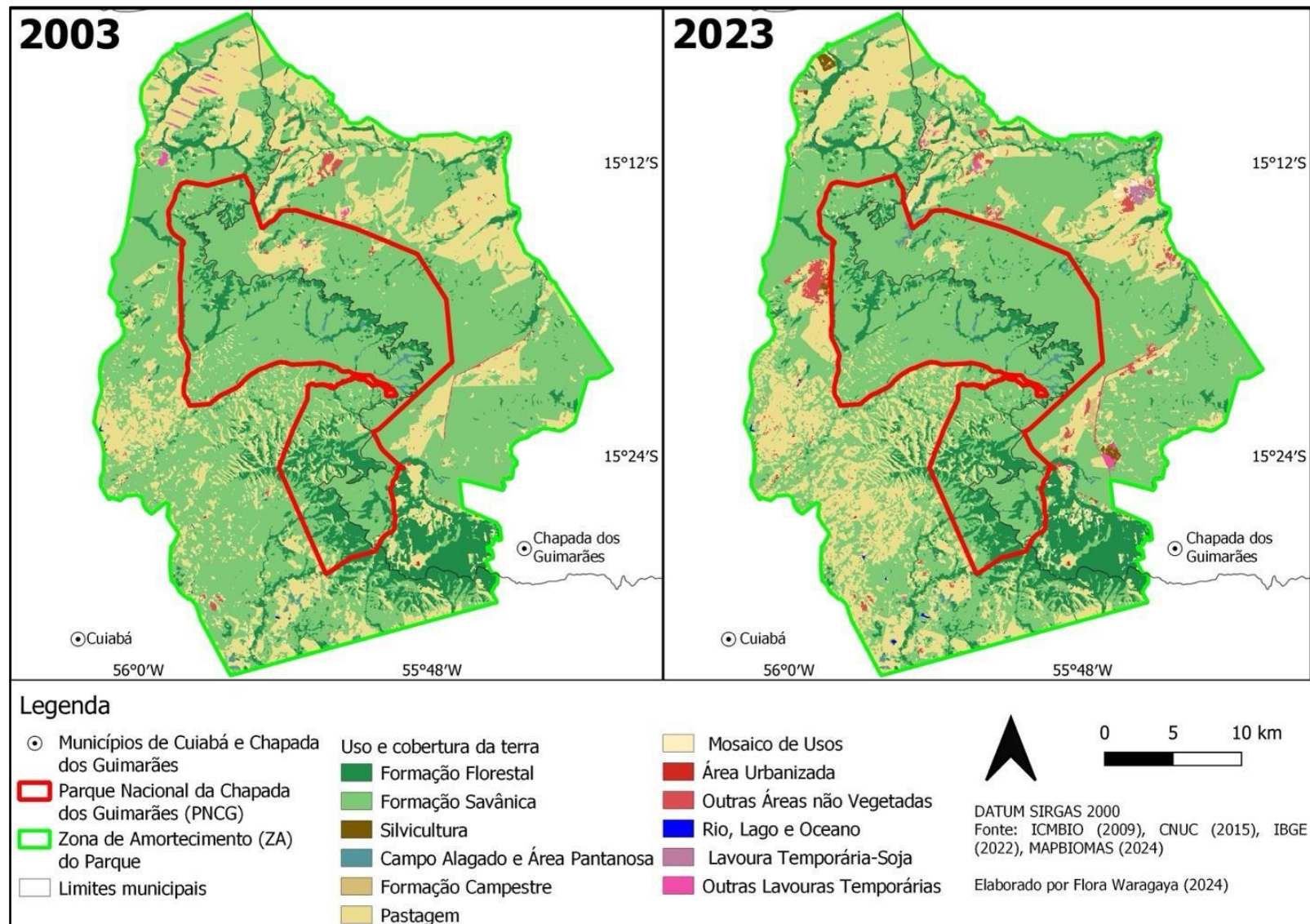


Fonte: Mapbiomas. Elaboração própria.

Já as áreas de campos alagados e áreas pantanosas apresentaram um comportamento contínuo de crescimento com algumas oscilações (Figura 14), tendo um aumento de 39,6% durante o período analisado (Tabela 4). Por se tratar de uma vegetação que depende de recursos hídricos (Mapbiomas, 2024), possivelmente variáveis meteorológicas, como precipitação e umidade relativa do ar influenciaram a oscilação do tamanho de tais áreas (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024). Além disso, a partir da Figura 15, nota-se que na porção norte do PNCG, houve um aumento de tal classe, que é refletido pelo seu crescimento contínuo (Figura 14), podendo ser resultado de ações de conservação do Parque.

A formação campestre apresenta um comportamento de constância entre 2003 e 2019, com áreas em média de 13,3 ha (Figura 14). Contudo entre 2020 e 2023, as áreas de tal vegetação começam a aumentar, apresentando durante o período do estudo um crescimento abrupto de 774%, observado na Figura 14. Esse aumento tem ocorrido principalmente na porção leste da ZA (Figura 15), onde em 2003 foi classificado como pastagem. Ressalta-se que a classificação de formação campestre realizada pelo Mapbiomas pode não ser precisa, sendo possível que a área classificada como formação campestre corresponda, na verdade, a pastagem, que é o uso antrópico predominante na área de estudo. Nesse sentido, o aumento abrupto da área de formação campestre faria mais sentido se fosse classificado como pastagem, já que em ambos a cobertura vegetal é relativamente baixa, com predominância de gramíneas (Trindade et al., 2008). Essa similaridade na estrutura da vegetação pode resultar em assinaturas espectrais muito próximas, o que pode confundir no momento de classificação (Borges et al., 2022). O trabalho de Da Silva Freitas et al. (2023) aponta, ainda, que o nível de acurácia para a classificação de pastagem é baixo, o que reforça a possibilidade de erro na classificação

Figura 15- Mapa de evolução de uso e cobertura do solo na área de estudo de 2003 e 2023.

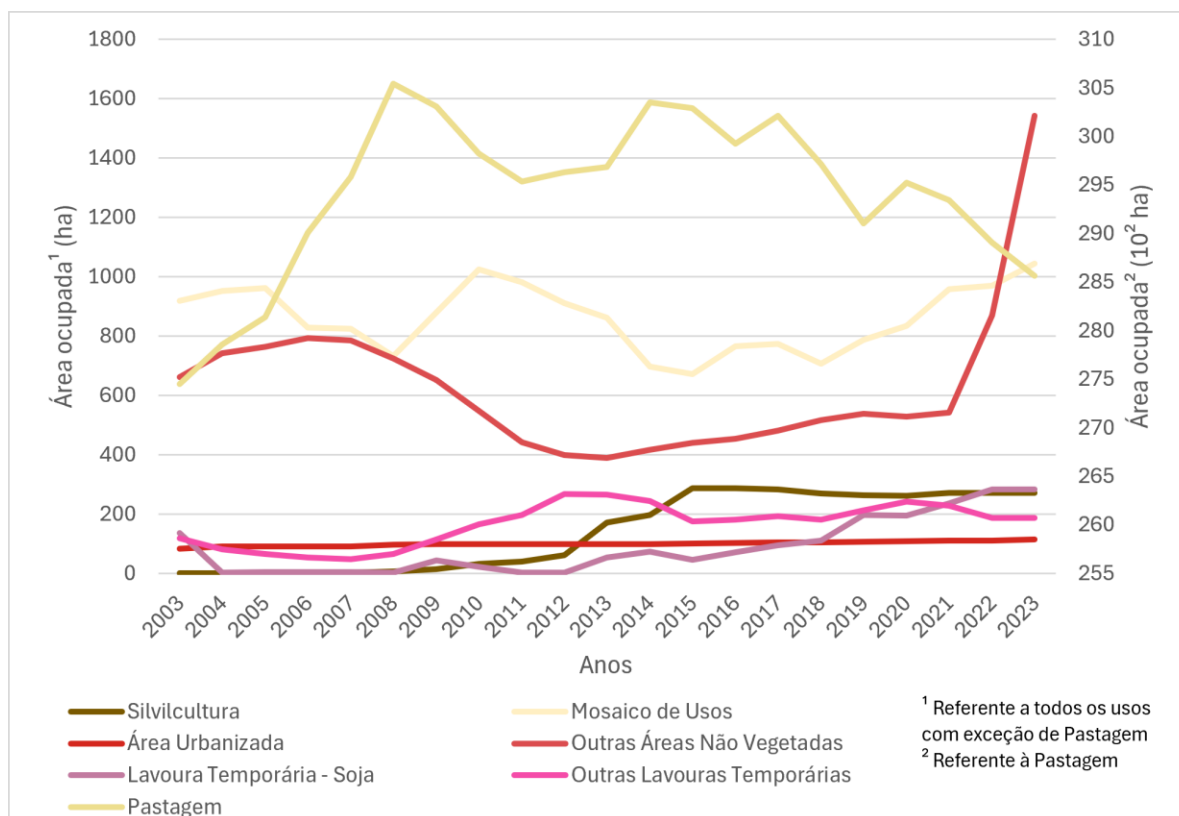


Fonte: ICMBio, CNUC, IBGE, Mapbiomas. Elaboração própria.

A classe pastagem é o uso antrópico majoritário no Parque e em seu entorno, abrangendo 24,6% da área de estudo (Figura 15). Os demais usos apresentam proporções significativamente menores, sendo distribuídos em silvicultura (0,12%), mosaico de usos (0,71%), área urbanizada (0,08%), outras áreas não vegetadas (0,53%), lavoura temporária de soja (0,07%) e outras lavouras temporárias (0,13%) (Tabela 4).

Entre 2003 e 2023, as áreas classificadas como pastagem apresentaram um aumento de 4% (Tabela 4). No período entre 2003 e 2007, observou-se um crescimento contínuo dessas áreas, atingindo seu pico em 2008, com um total de 30.541 ha (Figura 16). No intervalo de 2008 a 2020, as áreas de pastagem apresentaram oscilações, refletindo uma instabilidade no uso dessa classe de solo e entre 2021 e 2023, houve uma tendência de redução contínua (Figura 16). Conforme mencionado anteriormente, na porção sudoeste da ZA, ocorreu a conversão de formação savânica em pastagem (Figura 15). Essa conversão pode estar associada às dinâmicas de uso do solo na região, caracterizadas possivelmente pela expansão de atividades agropecuárias, realizadas em imóveis rurais na porção sudoeste da ZA, como indicado por Mengue (2022). Além disso, em 2023 na porção norte do PNCG, identifica-se uma diminuição de uma área de pastagem em relação à 2003, o que pode indicar que tenham sido implementadas ações voltadas à proteção e recuperação ambiental, previstas no plano de manejo do Parque (Figura 15).

A classe mosaico de usos, definida pela Coleção 9 do Mapbiomas (2024) como áreas de uso agropecuário, apresentou um aumento de 13,62% ao longo do período analisado (Tabela 4). Tal classe, como indicado pela Figura 15, está frequentemente associada a outros usos antrópicos, como pastagem, outras áreas não vegetadas, lavouras temporárias de soja e outras lavouras temporárias. Em 2023, esses usos concentram-se na porção leste da ZA, caracterizada por grandes lotes destinados possivelmente a atividades agropecuárias (Mengue, 2022) (Figura 15). Em contraste, em 2003, essa mesma região era composta predominantemente por formação savânica e pastagem (Figura 15). Durante o período analisado, observa-se que a extensão dessa classe oscila, tendo suas maiores extensões em 2003, 2010 e 2023, sendo que os anos restantes são de queda (Figura 16). Essa variação ao longo do período sugere conflito de uso de terra, uma vez que ao se tratar de uma zona de amortecimento, suas atividades são limitadas pelas restrições impostas pelo plano de manejo do parque.

Figura 16 - Gráfico da evolução dos usos antrópicos na área de estudo de 2003 a 2023.

Fonte: Mapbiomas. Elaboração própria.

Entre 2003 e 2023, observou-se um aumento de 133% na classe outras áreas não vegetadas, que é caracterizada como “áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas respectivas classes.” (Mapbiomas, 2024) (Tabela 4). Embora o período de 2003 a 2020 tenha sido marcado por oscilações, entre 2021 e 2023 houve um crescimento expressivo (Figura 16). Esse uso, como já mencionado anteriormente, se concentra principalmente na porção leste da ZA, onde há grandes imóveis rurais, possivelmente destinados a atividades agropecuárias (Figura 15). Além disso, destaca-se que, no mapa de 2023, uma área próxima ao limite do Parque foi classificada como outras áreas não vegetadas, localizada ao lado de uma área identificada como silvicultura (Figura 15). Essa configuração permite supor que a área classificada como outras áreas não vegetadas seja alguma infraestrutura associada à atividade de cultivo florestal, que também apresentou um aumento expressivo.

Em 2003, não era realizada a silvicultura, a qual foi introduzida em 2004, com 1,03 ha, e em 2023, essa atividade ocupava uma área de 269,9 ha, representando um aumento de 25.959% entre 2004 e 2023 (Tabela 4). Em 2023, a silvicultura estava concentrada nas porções norte e leste da ZA, sendo que a porção leste está associada a imóveis rurais

possivelmente destinados a atividades agropecuárias (Figura 15). As classes lavoura temporária de soja e outras lavouras temporárias apresentaram aumentos de 108% e 58%, respectivamente, ao longo do período analisado. Ambas as classes apresentaram oscilações, mas com uma tendência geral de crescimento (Tabela 4). Como apresentado na Figura 15, essas classes estão frequentemente associadas entre si, concentrando-se principalmente na porção leste da ZA, também vinculada a áreas possivelmente destinadas à agropecuária. Por fim, as áreas urbanizadas tiveram um aumento de 38% durante o período estudado (Tabela 4). Esse uso, como indicado na Figura 15, está localizado na porção sudeste da ZA, no limite com o município de Chapada dos Guimarães, o que indica uma pressão urbana sobre a área ao entorno do Parque, como indicado por Neto et al. (2017).

3.5 Relação entre focos e uso e cobertura do solo

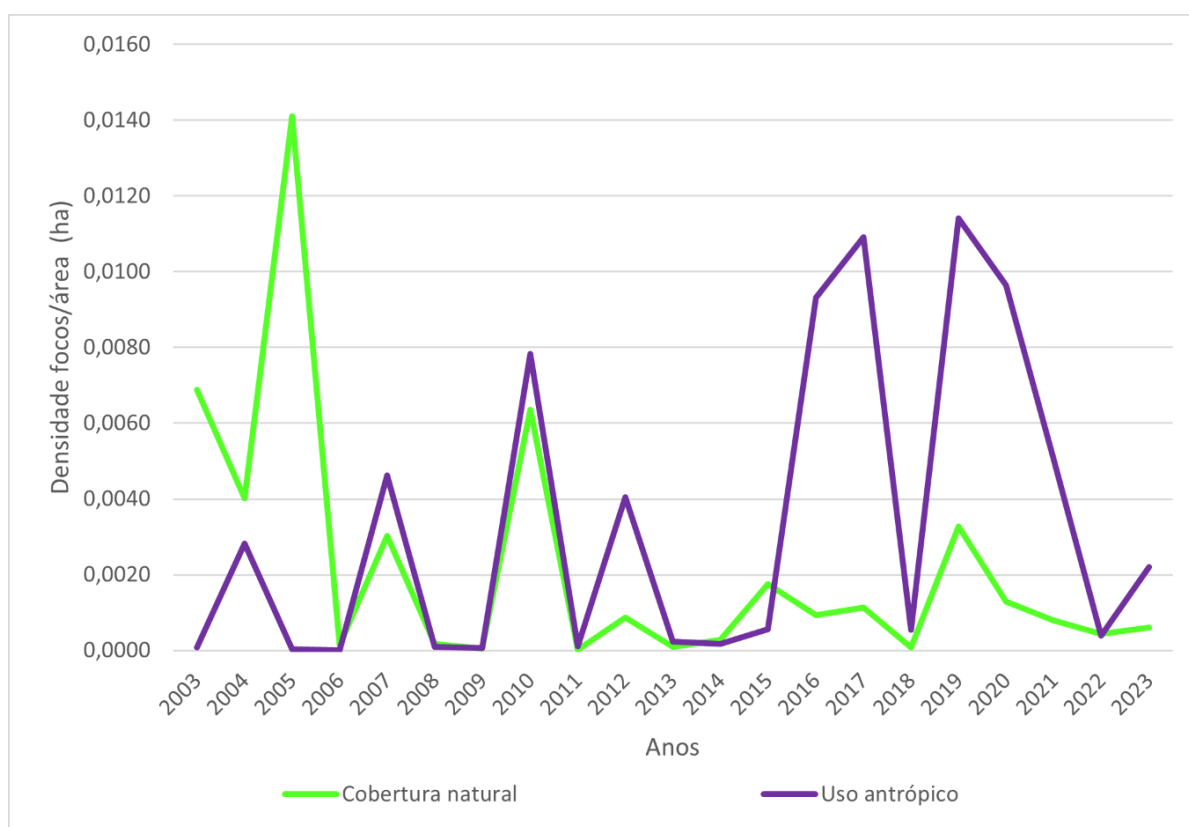
Tanto em áreas de cobertura natural quanto de usos antrópicos, houve anos com picos de ocorrência de focos, destacando-se 2007, 2010 e 2019 (Figura 17). Esse comportamento é similar ao observado no PNCG, em sua ZA e no estado de Mato Grosso (Figura 3). Ressalta-se que em 2012, houve também um pico, embora menos expressivo, possivelmente devido ao fato de que, em 2010, o número elevado de focos consumiu grande quantidade de biomassa, resultando em um acúmulo reduzido em 2011 e, conseqüentemente, um impacto menor no ano seguinte (Figura 17).

Observa-se que, embora as áreas de cobertura natural representem 74% da área de estudo (Tabela 4), apenas nos quatro primeiros anos do período analisado e em 2015, a densidade de focos nessas áreas foi superior à das áreas de uso antrópico (Figura 17). No entanto, não é possível afirmar que presença de vegetação nativa determina diretamente a incidência de focos, uma vez que esses são influenciados por diversos fatores, como as características da vegetação, as condições climáticas e ações antrópicas. A diminuição de densidade de focos em áreas de cobertura natural em detrimento de uso antrópico sugere que, embora a gestão do Parque tenha contribuído para a redução da ocorrência de incêndios de grandes proporções com a realização de queima prescrita a partir de 2017 (ICMBio, 2022), são necessárias análises mais detalhadas para avaliar a efetividade das ações de manejo do fogo tanto no interior do Parque quanto em sua zona de amortecimento.

Em relação aos focos em áreas de cobertura natural, em 2015, observa-se um pequeno pico de densidade nas áreas de cobertura natural, alinhando-se ao padrão de aumento na quantidade de focos registrado no Parque e em seu entorno no mesmo ano (Figura 3).

Além disso, o ano de 2005 destacou-se com a maior densidade registrada no período analisado (Figura 17), contudo, esse foi um ano com baixa quantidade total de focos de calor no Parque e em seu entorno (Figura 3). Uma possível explicação é o registro de 9 focos em áreas classificadas como “campo alagado e área pantanosa”, que, em média, representam apenas 0,6% da área total da ZA e do PNCG (Tabela 4), resultando em uma densidade relativamente alta para essa classe e para o grupo de cobertura natural (Figura 17) (Figura 18). Quanto aos demais anos, observa-se que as densidades de focos em áreas de vegetação nativa apresentaram um padrão cíclico, com picos em 2007, 2010 e 2019, além do de 2005, intercaladas por quedas. Os picos nesses anos coincidem com os picos registrados no Parque e no seu entorno (Figura 3), o que sugere que as áreas de cobertura natural estão atreladas ao ciclo do acúmulo de biomassa (Oliveira et al., 2021).

Figura 17- Gráfico da densidade de focos por área em coberturas naturais e usos antrópicos na área de estudo entre 2003 e 2023.



Fonte: MapBiomass. Elaboração própria.

Em relação aos usos antrópicos, é importante destacar que, tanto dentro do Parque quanto em seu entorno, foram identificadas áreas classificadas como formação campestre e Áreas Urbanas. Contudo, essas categorias não foram incluídas na análise de densidade de focos de calor, pois não registraram ocorrências de focos durante o período estudado.

No que se refere às densidades de focos em áreas de uso antrópico, além dos picos significativos observados em 2007, 2010 e 2019, também foi identificado um pico em 2017 e outros de menores expressões em 2004 e 2012 (Figura 17). Em 2004 e 2012, foram registrados 2 e 1 focos, respectivamente, em áreas classificadas como mosaico de usos e outras lavouras temporárias, as quais representam, em média, 0,71% e 0,13% da área de estudo, respectivamente (Tabela 4), o que resultou em um aumento relativo na densidade de uso antrópico (Figura 17). Esses registros sugerem que o fogo pode ter sido utilizado para práticas como renovação de pastagens ou limpeza de áreas agrícolas para novos ciclos (ICMBio, 2009).

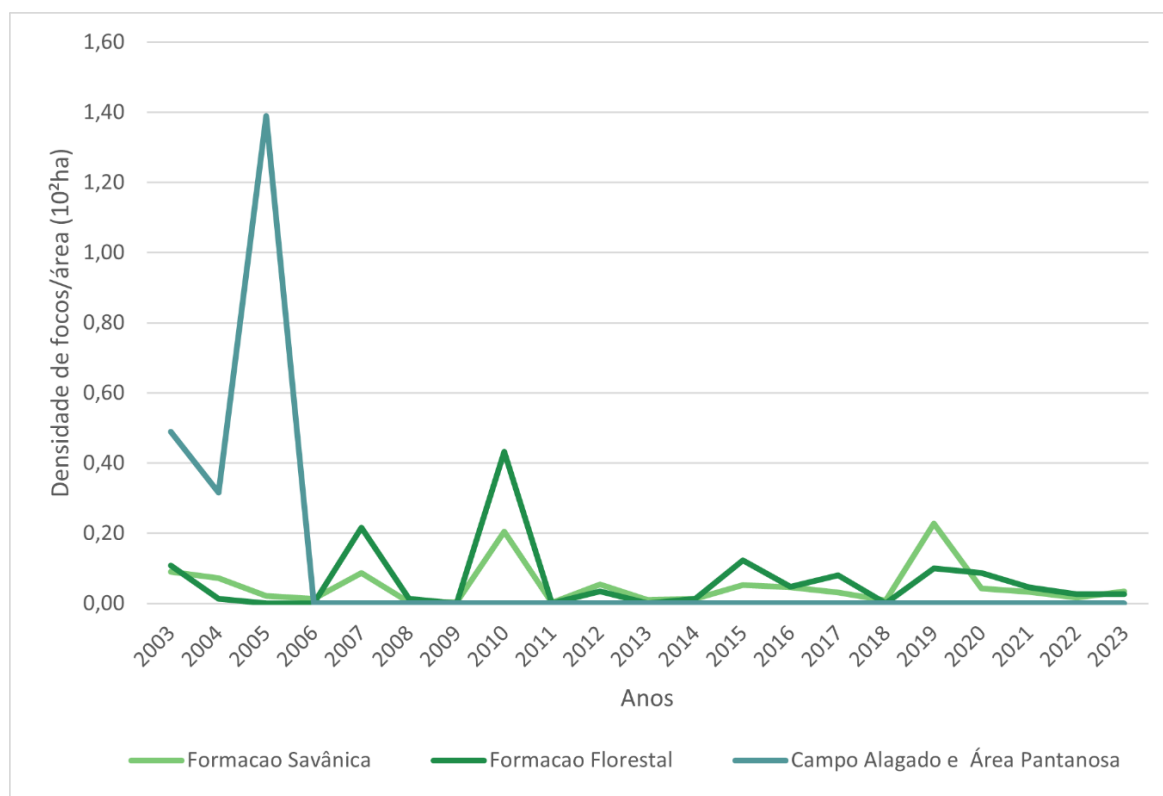
O período de 2015 a 2022 se destaca, com picos elevados em 2017 e 2019, contrastando com anos de declínio, como 2015, 2018 e 2022 (Figura 17). Nos anos de pico, as densidades de focos foram 227% (2017) e 242% (2019) superiores à média do período (Figura 17). Nesses dois anos, dos seis tipos de uso que registraram focos, quatro apresentaram ocorrência: pastagem, mosaico de usos, outras áreas não vegetadas e lavoura temporária de soja. O que indica que o fogo possa ter sido utilizado em atividades agropecuárias, como renovação de pastagens e manejo agrícola (Lara, Fiedler & Medeiros, 2007; Buffon, Printes & De Oliveira Andrade Filho, 2018). Em contrapartida, a menor densidade observada em anos como 2015, 2018 e 2022 pode estar associada a práticas como descanso do solo ou redução temporária do uso do fogo, refletindo a dinâmica cíclica da agropecuária (Santos et al., 2020b).

3.5.1 Relação entre ocorrência de focos e áreas de cobertura natural

Quanto à densidade de focos em áreas de ocupação natural, destaca-se que não foi considerada a formação campestre, uma vez que não foram registrados focos de calor em tal classe (Figura 18). Além disso, observa-se que, de forma geral, as formações savânica e florestal apresentam um comportamento cíclico semelhante (Figura 18) ao do acúmulo de focos na área de estudo, caracterizado por anos de grandes picos seguidos de quedas acentuadas (Figura 3), o que pode indicar que tais formações possuem relação com o ciclo de acúmulo de biomassa (Oliveira et al., 2021).

O comportamento em áreas classificadas como formação florestal apresenta maior variabilidade, com picos e quedas mais acentuados em comparação às áreas de Formação Savânica. Essa diferença pode ser atribuída às proporções ocupadas por essas classes no estudo, a formação savânica representa 60,7% da área de estudo, enquanto a formação florestal ocupa 12,4% (Tabela 4). Como resultado, variações no número de focos em áreas de formação savânica têm impacto menos significativo na densidade, enquanto variações semelhantes em áreas de formação florestal causam oscilações mais significativas. Em ambas as formações, foi observado os picos de densidade de maiores proporções em 2007, 2010, 2019 e um de menor proporção em 2012 o que está em consonância com os picos de quantidades de focos nesses mesmos anos na área de estudo. Ressalta-se, ainda, que a partir de 2018, tanto a formação florestal quanto a formação savânica apresentaram densidades menos acentuadas, isso se deve possivelmente pela introdução das queimas prescritas realizadas pelo ICMBio em 2017 (ICMBio, 2022).

Figura 18 - Gráfico de densidade de focos por área em coberturas naturais na área de estudo de 2003 a 2023.



Fonte: INPE, MapBiomias. Elaboração própria.

Em contrapartida, a densidade de focos na classe de campos alagados e áreas pantanosas apresenta um regime próprio (Figura 18). O aumento brusco registrado em 2005,

seguido de uma queda acentuada e da ausência de registros nos anos seguintes demonstra que não há uma tendência contínua ou cíclica de densidade de focos nos campos alagados como nas outras formações (Figura 18). Além disso, a partir dessa dinâmica, pode-se pressupor que eventos de fogo em tal classe são mais pontuais, necessitando condições específicas de seca extrema ou interferências humanas localizadas.

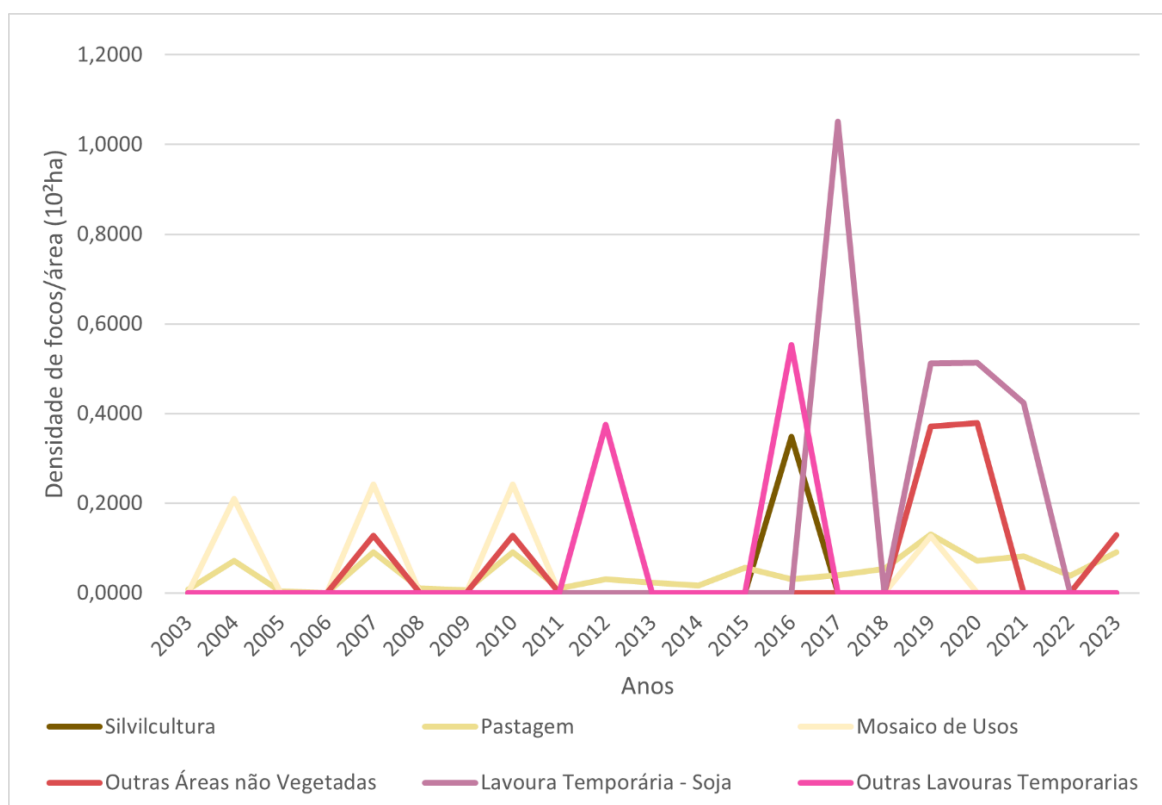
3.5.2 Relação entre ocorrência focos e áreas de uso antrópico

Em relação à densidade de focos em áreas de uso antrópico, ressalta-se que não foram analisadas as áreas urbanas, uma vez que não houve registro de focos em tal classe. Observa-se que, de forma geral, as classes referentes ao mosaico de usos, pastagem e outras áreas não vegetadas apresentam um comportamento cíclico semelhante (Figura 19) ao do acúmulo de focos na área de estudo caracterizado por anos, como 2007, 2010 e 2019, de grandes picos seguidos de quedas acentuadas (Figura 3). Isso pode indicar que tais formações, mesmo sob a ação antrópica, sofrem influência de condições climáticas. Como há uma similaridade do comportamento cíclico das classes mosaico de uso e pastagem com o do Parque e em seu entorno, é possível que a ocorrência de incêndios nesses ambientes seja influenciada por fatores meteorológicos, que afetam tanto as condições de combustibilidade da vegetação quanto a atividade humana relacionada ao uso do fogo.

A partir da Figura 19, observa-se a densidade de focos em áreas de plantação de soja nos anos 2017, 2019, 2020 e 2021, nos demais anos, não há ocorrência. Contudo, ressalta-se que as queimadas impactam negativamente o solo, acidificando-o, alterando o ciclo do nitrogênio, diminuindo as concentrações de nitrogênio e enxofre (Arens, 1958; Coutinho, 1976), por essa razão, não é recomendado o uso do fogo para manejo de agricultura, como a soja (Oliveira et al., 2008). Além disso, a análise de imagens *tif* de uso e cobertura do solo dos anos com registro de focos em áreas de cultivo de soja revelou que todos os focos de identificados em áreas de tal uso estavam extremamente próximos de áreas de pastagem, a classe de uso predominante na região. A proximidade espacial, em conjunto com a recomendação da não utilização de fogo como instrumento do manejo do cultivo de soja, sugere a possibilidade de um erro de geolocalização, indicando que os focos inicialmente atribuídos à soja podem ter ocorrido, na verdade, em áreas de pastagem ou possivelmente os focos podem ter iniciado em áreas de pastagem que se expandiram em áreas de cultivo de soja.

A classe outras lavouras temporárias apresenta um padrão próprio, com picos registrados apenas em 2012 e 2016. Nos demais anos, não há registros de focos nessa classe, resultando na ausência de densidade de focos por área. É importante destacar que, nesses dois anos, não foram observados picos de incêndios no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães nem em seu entorno. Assim, é possível concluir que a ocorrência de focos nessa classe está mais relacionada a atividades antrópicas, como práticas de manejo ou uso inadequado do fogo, embora como indicado por Justino, Souza e Setzer (2002), a presença de condições meteorológicas favoráveis, como períodos de seca e altas temperaturas, ainda seja importante para que esses focos sejam registrados, indicando uma interação entre fatores humanos e ambientais.

Figura 19 - Gráfico da densidade de focos por área em usos antrópicos na área de estudo de 2003 a 2023.



Fonte: Mapbiomas. Elaboração própria.

Um padrão semelhante ao observado na classe outras lavouras temporárias ocorre na classe silvicultura, que não apresentou registros de focos de calor até 2016 (Figura 19). Nesse ano, houve um pico isolado de densidade, sem quaisquer registros nos anos subsequentes (Figura 19). Destaca-se que, em 2016, não foram observadas grandes quantidades de focos de calor no Parque e em seu entorno (Figura 19), o que sugere que o pico registrado na

silvicultura possa estar associado a práticas de manejo específicas, como o uso controlado do fogo, uma técnica preventiva para reduzir a carga de biomassa e minimizar o risco de incêndios descontrolados, conforme destacado por Soares (2000). Por outro lado, também pode-se considerar a hipótese de uso inadequado do fogo, como houve um aumento da área de silvicultura entre 2012 e 2023 (Figura 16) pressupõe-se que haveria um manejo mais regular do fogo, seguindo as recomendações de Soares (2000). No entanto, o pico isolado de focos de calor em 2016 indica que as práticas de manejo nessa classe podem não estar sendo adequadamente implementadas ou que foi um acidente.

A classe pastagem apresenta um comportamento contínuo, com picos de densidade registrados em 2004, 2007, 2010 e 2019 (Figura 19), coincidindo com os picos observados no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e em seu entorno (Figura 3). O fato dessa classe apresentar densidades de focos por área em todos os anos sugere que o uso do fogo pode ser uma prática recorrente no manejo da atividade, para renovação das pastagens, por exemplo (Santos et al. 2020b). Os picos mais acentuados, por sua vez, indicam que em anos de maior ocorrência de queimadas no Parque e em seu entorno, as áreas de pastagem também foram impactadas, possivelmente como resultado da combinação de outros fatores (Justino, Souza e Setzer, 2002). Esses fatores incluem variáveis meteorológicas, como períodos de seca prolongada e temperaturas mais elevadas, que aumentam a inflamabilidade do material vegetal e facilitam a propagação do fogo (Torres, 2006). Além disso, como mencionado anteriormente, a análise dos mapas de uso e cobertura (Figura 15) revela que, na porção sudoeste da ZA, houve a conversão de formação savânica para pastagem. Considerando que a densidade de focos em áreas de pastagem esteve presente de forma contínua ao longo do período analisado, pode-se pressupor que o fogo tenha sido utilizado como uma ferramenta para a conversão de cobertura natural para uso antrópico.

A classe referente à mosaico de usos, assim como a pastagem, apresenta picos nos mesmos anos, 2004, 2007, 2010 e 2019 (Figura 19), coincidindo com os picos observados no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e em seu entorno (Figura 3). Contudo, ressalta-se que diferentemente da pastagem, tal classe apresenta densidades de focos por área apenas nesses anos, nos demais não há registro. Isso pode indicar que essas práticas não são regulares, sendo condicionadas por atividades humanas ocasionais, como manejo inadequado ou uso intencional do fogo para limpeza ou preparo de áreas, por exemplo (ICMBio, 2009).

3.5.3 Coeficiente de Pearson

Os dados do Projeto Mapbiomas revelam que, em média, no período de 2003 a 2023, as classes predominantes de cobertura e uso do solo no Cerrado, em ordem decrescente, são: formação savânica (60,7%), pastagem (24,6%), formação florestal (12,4%) e mosaico de usos (0,71%) (Tabela 4). No entanto, as classes que apresentam maior média de densidade de focos por área no mesmo período são: lavoura temporária de soja (22,1%), campos alagados e áreas pantanosas (19,4%), formação florestal (12,1%), outras áreas não vegetadas (10%) e formação savânica (9,4%) (Tabela 5). É importante destacar, no entanto, que não se observa uma correlação estatisticamente significativa entre o acúmulo de focos e as áreas ocupadas por cada classe que registraram focos durante o período analisado.

Tabela 5 - Proporção de densidade média de focos de cada classe em relação ao total na área de estudo entre 2003 e 2023.

Classe de uso e ocupação do solo	Proporção da densidade (%)
Formação savânica	9,4
Formação florestal	12,1
Campo alagado e área pantanosa	19,4
Silvicultura	3,1
Pastagem	8,4
Mosaico de usos	7,3
Outras áreas não vegetadas	10
Lavoura temporária de soja	22,1

Outras lavouras temporárias	8,2
------------------------------------	-----

Fonte: INPE, Mapbiomas. Elaboração própria.

Os resultados das correlações entre os dois grandes grupos de uso e cobertura do solo (uso antrópico e cobertura natural) e os focos de calor na área de estudo entre 2003 e 2023 não apresentaram relações significativas. O grupo “cobertura natural”, composta por formação savânica, formação florestal e campos alagados e áreas pantanosas apresentou uma correlação positiva fraca com os focos de calor ($R = 0,16$) e estatisticamente não significativa ($p = 0,48$) (Tabela 6). Já o grupo “uso antrópico”, que abrange silvicultura, pastagem, mosaico de usos, outras áreas não vegetadas, lavoura de soja e outras lavouras temporárias, também apresentou uma correlação positiva fraca ($R = 0,06$) e sem significância estatística ($p = 0,77$) (Tabela 6). De forma geral, as classes de ambos os grupos também apresentaram correlações fracas, o que sugere que o tamanho em si de cada classe não interfere diretamente na ocorrência de focos. Por essa razão, é necessário analisar outros fatores que podem influenciar tal ocorrência, como acúmulo de biomassa, combustibilidade, atividades antrópicas e outros fatores climáticos.

A classe campos alagados e áreas pantanosas, embora represente apenas 0,6% da área de estudo (Tabela 4), concentrou o segundo maior percentual de focos de calor registrados (tabela 5), com ocorrências pontuais entre os anos de 2003 e 2005, atingindo um pico em 2005 (Figura 18). Após esse período, não houve registros de focos nessa classe, mesmo em anos de alta ocorrência de queimadas na área de estudo, como 2007, 2010 e 2019 (Figura 3). A correlação linear moderada e negativa ($R = -0,50$; $p = 0,02$) indica que, conforme a área ocupada por campos alagados e áreas pantanosas diminui, os focos tendem a aumentar, sugerindo que a vegetação dessa classe, por suas características de alta umidade, dificulta a propagação do fogo (Tabela 6). Apesar disso, a correlação moderada e o baixo valor de p apontam uma relação estatisticamente significativa, mas não suficiente para afirmar que as queimadas estão diretamente relacionadas à área de ocupação dessa classe. Os focos registrados nos primeiros anos analisados parecem ser resultado de ações humanas pontuais, como queimadas controladas.

A formação florestal, é a terceira classe com maior área, com 12,4% (Tabela 4), e registra a terceira maior densidade de focos por área (12,1%) (Tabela 5). Isso se deve possivelmente pela pequena extensão que essa classe abrange dentro do Parque e da zona de

amortecimento. Além disso, tal formação, como apontado anteriormente, apresenta um comportamento cíclico, com anos de picos de focos, como 2007, 2010 e 2019 intercalados com anos de quedas acentuadas (Figura 18). Embora não seja considerada um ecossistema adaptado ao fogo, a ocorrência de focos foi praticamente contínua, com interrupções apenas nos anos anteriores aos picos, possivelmente devido ao acúmulo de biomassa em períodos de maior umidade (Figura 18). A extensão de áreas de formação florestal possui uma correlação negativa baixa com a ocorrência de focos ($R = -0,29$) e pouco significativa, estaticamente ($p = 0,19$) (Tabela 6). Isso se deve, possivelmente, ao fato desse tipo de vegetação possuir menor inflamabilidade, por ter um maior teor de umidade (Da Silva Arruda et al., 2024) e pela menor presença de material combustível fino, como gramíneas (Santos et al., 2020a). Miranda et al. (2010) destacam que a formação florestal pode ser mais impactada pelo fogo do que formações savânicas e campestres, uma vez que a formação florestal possui uma adaptação baixa ao fogo.

A classe formação savânica, que ocupa a maior extensão média da área de estudo (60,7%) (Tabela 4), é a sexta com maior densidade de focos por área (9,4%) (Tabela 5). Além disso, tal classe, assim como a formação florestal, é caracterizada por anos com picos de focos intercalados com períodos de quedas acentuadas (Figura 18). Ressalta-se, ainda, que o registro de focos ocorre em todos os anos analisados, indicando que essa vegetação é mais suscetível a incêndios em comparação com as demais classes (Figura 18). Embora a correlação entre a área de formação savânica e os focos de calor tenham sido baixa e positiva ($R = 0,20$) e não estatisticamente significativa ($p = 0,37$) (Tabela 6), essa classe destacou-se por registrar focos anualmente, ao contrário das outras classes, além de apresentar uma das maiores densidades de focos por área, ocupando o terceiro lugar nesse indicador, devido a sua extensão territorial. Assim, mesmo sem uma forte correlação entre o tamanho da classe e a quantidade de focos de calor, é possível afirmar que a formação savânica possui suscetibilidade a incêndios. Tal resultado foi similar ao encontrado por Moraes (2021), que avaliou a resiliência de diferentes formações do Cerrado em relação ao fogo no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, em Goiás.

Assim, para uma melhor compreensão sobre a relação entre a ocorrência dos focos com a formação savânica, é fundamental considerar outros fatores, como o relevo, que influencia variáveis como o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar, as quais, por sua vez, influenciam a propagação dos incêndios florestais (Freire, Carrão e Caetano, 2004 *apud*

Torres, 2006). Outro fator a se considerar é o acúmulo de biomassa, já que maior disponibilidade de biomassa aumenta a ocorrência de incêndios (Da Silva Arruda et al., 2024). Ressalta-se ainda a importância de se analisar o uso do solo. Na área de estudo, observou-se que a porção sudoeste da zona de amortecimento do Parque concentra a maior incidência de focos de calor (Figura 11), além de ter registrado uma conversão de formação savânica para pastagem. pressupõe-se, portanto, que essa conversão esteja relacionada à expansão da pecuária (Figura 13).

A classe pastagem ocupa 24,6% da área de estudo (Tabela 4) e é composta principalmente por gramíneas altamente inflamáveis devido ao rápido crescimento e ao acúmulo de material combustível seco (Dantas, 2001; Ramalho et al., 2024). Apesar disso, a densidade de focos nessa classe é moderada em comparação às demais (Tabela 5), sugerindo que práticas de manejo, como queimadas controladas, podem estar reduzindo incêndios descontrolados. A correlação entre a área ocupada por pastagem e a quantidade de focos foi baixa e negativa ($R = -0,06$; $p = 0,76$), indicando que o tamanho da área de pastagem não está diretamente relacionado ao número de focos (Tabela 6). Contudo, a maior densidade de focos foi registrada na porção sudoeste da zona de amortecimento, onde áreas de formação savânica foram convertidas em pastagem (Figura 11). Esse padrão sugere que a atividade pecuária em tal região influencia a ocorrência de focos de calor e a dinâmica do uso do solo, sendo importante analisar outras variáveis.

A classe lavoura temporárias de soja apresenta, além da maior densidade média de focos (Tabela 5), uma correlação moderada e positiva entre a área ocupada por essa classe e a quantidade de focos de calor ($R = 0,48$; $p = 0,03$), sendo estatisticamente significativa (Tabela 6). Essa relação indica que, à medida que a área plantada com soja aumenta, a ocorrência de focos de calor também tende a crescer. Essa dinâmica pode estar associada a práticas de manejo agrícola que utilizam o fogo, como a limpeza de terrenos ou a remoção de resíduos vegetais após a colheita. Contudo, ressalta-se que como o coeficiente é de grau moderado, é necessário que se analise outras variáveis, como combustibilidade e acúmulo de biomassa.

As correlações entre as áreas ocupadas por silvicultura ($R = 0,26$; $p = 0,25$), mosaico de usos ($R = 0,32$; $p = 0,16$), outras áreas não vegetadas ($R = 0,34$; $p = 0,13$) e outras lavouras temporárias ($R = 0,28$; $p = 0,22$) com os focos de calor foram positivas, mas de intensidade baixa a moderada e sem significância estatística (Tabela 6). Esses resultados

indicam que, embora o aumento de área dessas classes possa contribuir para a ocorrência de focos, a relação não é forte nem consistente o suficiente para afirmar que o aumento de suas áreas impacta diretamente o número de incêndios. No entanto, fatores como a presença de materiais inflamáveis, práticas de manejo e proximidade de áreas mais suscetíveis a queimadas podem exercer influência localizada sobre os focos, o que reforça a necessidade de uma análise espacial mais detalhada.

Tabela 6 - Valores da correlação estatística de Pearson entre os focos e as áreas ocupadas pelos usos e cobertura do solo em que foram detectados na área de estudo de 2003 a 2023.

Tipos de uso e cobertura do solo	R	p
Cobertura natural	0,1600	0,4881
Uso antrópico	0,0660	0,7761
Formação savânica	0,2041	0,3746
Formação florestal	-0,2933	0,1967
Silvicultura	0,2603	0,2544
Campos alagados	-0,4999	0,0210
Pastagem	-0,0682	0,7687
Mosaico de usos	0,3212	0,1555
Outras áreas não vegetadas	0,3446	0,1259
Soja	0,4754	0,0293
Outras lavouras temporárias	0,2770	0,2240

Em que: R = Coeficiente de Pearson; p = Valor p de significância estatística a 95%.

Fonte: INPE, MapBiomass. Elaboração própria.

Conclusão

Entre 2003 e 2023, o Satélite Aqua, do INPE, registrou 267 focos de calor no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG) e 1.044 na sua zona de amortecimento (ZA), totalizando 1.311 focos. Destes, 79,7% ocorreram na ZA, destacando a importância do manejo integrado do fogo, dado que incêndios frequentemente começam fora dos limites do parque e afetam áreas prioritárias, especialmente na seca (Mengue, 2022). Picos de focos em 2007, 2010 e 2019 demonstram um comportamento cíclico, com acúmulo de biomassa em anos anteriores. Correlações anuais entre variáveis meteorológicas e focos foram fracas, mas a umidade relativa mostrou maior impacto na ocorrência mensal de incêndios, superando a precipitação (Sampaio, 1991).

Na ZA, focos concentraram-se nas regiões sul e sudoeste, influenciadas pela Rodovia MT-251 e pela presença de imóveis rurais. Houve conversão de áreas de formação savânica para pastagens, que apresentaram moderada densidade de focos, possivelmente devido a queimadas controladas. A formação savânica registrou maior densidade de incêndios, destacando sua suscetibilidade ao fogo, enquanto a formação florestal teve baixa densidade, devido à maior umidade. Lavouras de soja mostraram correlação moderada com focos, mas podem refletir erros de geolocalização.

A maior parte dos focos ocorreu em áreas de cobertura natural, devido à localização em uma Unidade de Conservação (UC). No entanto, como destaca Da Silva Arruda (2024), as ignições são, em sua maioria, de origem antrópica, propagando-se para vegetação nativa, com condições meteorológicas favoráveis (Justino, Souza & Setzer, 2002). Assim, é crucial que os Planos de Manejo Integrado do Fogo considerem variáveis naturais e socioeconômicas, além de práticas como queimas prescritas, para proteger a biodiversidade do PNCG.

Referências bibliográficas

- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, D.B., ALVARADO, S.T. Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto. *Geografia*, v. 44, n. 2, p. 321-345, 2019.
- ARAÚJO, C.A.S. Aplicações de técnicas de Sensoriamento Remoto na análise multitemporal do ecossistema manguezal na Baixada Santista, SP. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica*, p. 57-77, 1958.
- BARBOSA, R. I. Distribuição Espacial E Temporal De Focos De Calor Em Roraima Detectados Pelo Noaa-Avhr (1999-2009). In: *Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal*, 2010, Curitiba. *Anais[...]* Curitiba, PR: 2010. p. 363.
- BEHLING, H. 1995. A high resolution Holocene pollen record from Lago do Pires, SE Brazil: vegetation, climate and fire history. *Journal of Paleolimnology*, 14: 253-268.
- BERENGUER, E. et al. Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 118, n. 30, p. e2019377118, 2021.
- BONORA, L. et al. Wildfire occurrence: Integrated model for risk analysis and operative suppression aspects management. 2013.
- BORGES, E. F.; FORTUNATO, U. M. C.; FERNANDES, L. A. Séries temporais de dados de Sensoriamento Remoto no estudo do comportamento fenológico no Polo de Desertificação de Jeremoabo-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 01, p. 443-464, 2022.
- BRASIL. Lei 9.985, de 18 de julho de 2000. 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. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 jul. 2000.
- BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Dispõe sobre o manejo integrado do fogo em áreas protegidas e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1 ago. 2024.
- BRASIL. Decreto nº 97.656, de 12 de abril de 1989. Cria, no Estado de Mato Grosso, o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 5567, 13 abr. 1989.
- BUFFON, I; PRINTES, R.C.; DE OLIVEIRA ANDRADES-FILHO, C. Sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas para viabilizar o licenciamento ambiental do

- tradicional uso do fogo visando à renovação de pastagens em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, v. 4, n. 3, p. 447-469, 2018.
- CONCIANI, D. E. et al. Human-climate interactions shape fire regimes in the Cerrado of São Paulo state, Brazil. *Journal for Nature Conservation*, v. 61, p. 126006, 2021.
- COUTINHO, L.M. Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do Cerrado. 1976.
- DA CRUZ TEIXEIRA, N. et al. Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 02, p. 607-618, 2021.
- DANTAS, M.D. Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2001. 19 p.+ mapa color., 2001.
- DEPPE, F.; PAULA, E.V.; MENEGHETTE, C.R.; VOSGERAU, J. (2004). Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. *Floresta*, v. 34, n. 2, p. 119-126.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, v. 53, n. 1, p. 11-15, 2016.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, n 38, 201-341, 1972.
- FARIA, T. O. et al. Características do meio físico do Geoparque Chapada dos Guimarães. In: KUHN, C. E. S.; SANTOS, F. R. P. Geoparque Chapada dos Guimarães: Uma viagem pela história do planeta. Cuiabá: FEBRAGEO, 2021. 184p.
- FEURDEAN, A. et al. Fire frequency and intensity associated with functional traits of dominant forest type in the Balkans during the Holocene. *European Journal of Forest Research*, v. 138, n. 6, p. 1049-1066, 2019.
- FERREIRA, N.J. Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N. Oficina de Textos, 2004.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V.R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, n. 2, p. 12-25, 2011.
- FIDELIS, A. et al. The year 2017: Megafires and management in the Cerrado. *Fire*, v. 1, n. 3, p. 49, 2018.
- FIEDLER, N. C.; MERLO, A. M.; MEDEIROS, M. B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 153-161, 2006.
- FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: INPE Oficina de Textos, 2002.
- FRANÇA, H. Os incêndios de 2010 nos parques nacionais do Cerrado. Relatório técnico. Universidade Federal do ABC. 16p, 2010.

GOULART, A. A. et al. Focos de queimadas e incêndios detectados por satélites nas unidades de conservação do Cerrado no Mato Grosso em 2010. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, v. 14, 2011.

GRANEMANN, D.C.; CARNEIRO, G.L. Monitoramento de focos de calor e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. Revista de engenharia e tecnologia, v. 1, n. 1, p. Páginas 55-62, 2009.

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

HEIKKILÄ, T. V.; GRÖNQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. Wildland Fire Management: Handbook for Trainers. Helsinki: Ministry for Foreign Affairs of Finland, 2007. 248 p.

HOFMANN, G.S. et al. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. Global Change Biology, v. 27, n. 17, p. 4060-4073, 2021.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo Integrado do Fogo do Parque Nacional de Brasília e Reserva Biológica da Contagem (2024 a 2028). Brasília, 2023.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo Integrado do Fogo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães - Triênio 2023-2025. Brasília, 2022a.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo Integrado do Fogo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Brasília, 2022b.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo Integrado do Fogo do Parque Nacional da Serra da Canastra (2023-2026). Brasília, 2022c.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Brasília, 2009.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal de Queimadas - TerraBrasilis. Disponível em: <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>> Acesso em: 5 nov. 2024.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa de Queimadas: BDQueimadas. 2024. Disponível em: < https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/ >. Acesso: 25 out. 2024.

ISA - Instituto Socioambiental. (2019). Novo arco do desmatamento: Fronteira de destruição avança em 2019 na Amazônia. Disponível em: <https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/novo-arco-do-desmatamento-fronteira-de-destruicao-avanca-em-2019-na-amazonia>. Acesso em: 02 nov. 2024.

JENSEN, J. R., Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Editora Parêntese, São José dos Campos, SP. 2009.

JANSEN, L.J.M., GREGORIO, A. Di. Parametric land cover and land use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture Ecosystems e Environment* v. 91, p.89100, 2002.

JUSTINO, F.B.; SOUZA, S.S. de; SETZER, A. Relação entre focos de calor e condições meteorológicas no Brasil. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. 2002. p. 2086-2093.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, [S. L.], v. 1, n. 1, p. 147-155, jul. 2005.

KLINK, C. A.; SOLBRIG, O. T. Efeito do fogo na biodiversidade de plantas do Cerrado. In: SARMIENTO, G.; CABIDO, M. (Ed.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*. Mérida: Cytel y Cielat, 1996. p. 231-244.

KNIGHT, J. R.; FOLLAND, C. K.; SCAIFE, A. A. Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 17, 2006.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948. 71p.

KREBS, P. et al. Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. *Theory in Biosciences*, v. 129, p. 53-69, 2010.

LARA, D.X.; FIEDLER, N.C.; MEDEIROS, M.B. de. Uso do fogo em propriedades rurais do Cerrado em Cavalcante, GO. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2007.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. RIMA, São Carlos. 2000

LEMES, G.P. et al. Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011 Spatiotemporal assessment of forest fires occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011. *Ambiência*, v. 10, n. Sup, p. 247-266, 2014.

LIU, W.T.H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Oficina de Textos, 2015.

LOCH, C. *A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. UFSC, 2001.

MACHADO, N.G et al. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014.

MAPBIOMAS. Conheça os passos da metodologia de cobertura e uso da terra. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/> Acesso em: 04 nov. 2024.

MAPBIOMAS. Descrição da legenda de uso e cobertura do solo – Coleção 9. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Legenda-Colecao-9-Descricao-Detalhada-PDF-PT.pdf>> Acesso em: 23 nov. 2024.

MAPBIOMAS. Google Earth Engine. 2024. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/google-earth-engine/>> Acesso em: 01 out. 2024.

MAPBIOMAS - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9, Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Fact_Colecao-9_21.08-OK.pdf> Acesso em 04 nov. 2024.

MAPBIOMAS - Mapeamento das áreas queimadas no Brasil entre 1985 a 2023 - Coleção 3, Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/06/Fact_MapBiomias_Fogo_Colecao3_28.06-1.pdf Acesso em 06 nov. 2024.

MATAVELI, G. A. V. et al. Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 18, n. 1, p. 125-144, 2018.

MCLAUCHLAN, K.K., P.E. HIGUERA, J. MIESEL, B.M. ROGERS, J. SCHWEITZER, J.K. SHUMAN, A.J. TEPLY, J.M. VARNER, T.T. VEBLEN, S.A. ADALSTEINSSON, J.K. BALCH, P. BAKER, E. BATLLORI, E. BIGIO, P. BRANDO, M. CATTAL, M.L. CHIPMAN, J. COEN, R. CRANDALL, L. DANIELS, N. ENRIGHT, W.S. GROSS, B.J. HARVEY, J.A. HATTEN, S. HERMANN, R.E. HEWITT, L.N. KOBZIAR, J.B. LANDESMANN, M.M. LORANTY, S.Y. MAEZUMI, L. MEARN, M. MORITZ, J.A. MYERS, J.G. PAUSAS, A.F.A. PELLEGRINI, W.J. PLATT, J. ROOZEBOOM, H. SAFFORD, F. SANTOS, R.M. SCHELLER, R.L. SHERRIFF, K.G. SMITH, M.D. SMITH, AND A.C. WATTS. 2020. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology* 108 (5): 2047–2069.

MENEZES, L. S. et al. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. *Science of the total environment*, v. 820, p. 153021, 2022.

MENGUE, V. P. Análise espacial dos registros de focos de calor na área de proteção ambiental do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães/MT entre os anos de 2002 a 2021. *Revista Georaguaia*, v. 12, n. 2, p. 84-105, 2022.

MIRANDA, H. S. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Resultados do projeto Fogo. Brasília-DF, Ibama, 2010.

MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C. & MIRANDA, A.C. 2002. The fire factor, 51-68. In: Olivera, P.S. & Marquis, R.J. (eds). *the cerrados of brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press.

MIRANDA, H.S.; SATO, M.N.; NETO, W.N.; AIRES, F.S. 2009. Fires in the Cerrado, the brazilian savanna, 427-450. In: Cochrane, M.A. (ed). *tropical fire ecology: climate change, land use and ecosystem dynamics*. Springer-Praxis.

MORAES, K.V. de. Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros–GO. 2021.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B. and KENT, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, vol. 403, p. 853-858.

MYERS, R. L.; Batalha, M. Convivendo com o Fogo-Manutenção dos ecossistemas e subsistência com o manejo integrado do fogo. *The Nature Conservancy-Iniciativa Global*

para o Manejo do Fogo: Tallahassee, USA, 2006.

MISTRY, J. Fire in the Cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, v. 22, n. 4, p. 425-448, 1998.

NASCIMENTO, I. V. Cerrado: o fogo como agente ecológico. *Territorium*, n. 8, p. 25-35, 2001.

NETO, A. P. M. et al. Incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães-MT entre 2005 e 2014. *Nativa*, v. 5, n. 5, p. 355-361, 2017.

NOBRE, A.C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações, 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1998. 308p

NUNES, J. R. S. et al. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. *Floresta*, v.35, n.2, p.247-258, 2005.

OLIVEIRA, F. das C. et al. Estratégias de desenvolvimento rural e alternativas tecnológicas para a agricultura familiar na Região Meio-Norte. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008., 2008.

OLIVEIRA, U. et al. Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, v. 482, p. 118889, 2021.

OVERBECK, G.E. et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and distributions*, v. 21, n. 12, p. 1455-1460, 2015.

PACHECO, D.G. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. *Cerrados*, v. 19, n. 2, p. 303-322, 2021.

PINHEIRO, E. D. S.; DURIGAN, G. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, v. 32, p. 441-454, 2009.

PINHEIRO, M. H. O.; MONTEIRO, R. Contribution to the discussions on the origin of the Cerrado biome: Brazilian savanna. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, p. 95-102, 2010.

PINTO, J. R. R.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. de. Perfil florístico e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta de vale no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil. *Brazilian Journal of Botany*, v. 22, p. 53-67, 1999.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire ecology*, v. 7, p. 24-39, 2011.

PIVELLO, V. R.; NORTON, G. A. FIRETOOL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. *Journal of Applied ecology*, p. 348-356, 1996.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. Oficina de textos, 2015.

PRUDENTE, T. D. Risco integrado de incêndio florestal em áreas de Cerrado: contribuições metodológicas. 2016. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal

de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal do município de Tupaciguara-MG. In: Anais. XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal, Rio Grande do Norte, 2007.

PRUDENTE, T.D.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à análise de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p.2951-2958

RAMALHO, A. H. C. et al. Compreendendo a ação do fogo nos ecossistemas brasileiros. Biodiversidade Brasileira, v. 14, n. 1, p. 8-25, 2024.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. Environmental management, v. 26, p. 675-684, 2000.

- ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.
- RODRIGUES, Marcelayne Farias et al. Aspectos motivacionais para o uso do fogo na agricultura no Distrito Federal e Entorno. 2016.
- ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: EDUFU, 228p. 2003.
- ROSS, J. L. S. Chapada dos Guimarães: borda da bacia do Paraná. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 28, p. 180-197, 2014.
- RUGGIERO, P. G. C. et al. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de Cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos?. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, p. 383-394, 2006.
- SAMPAIO, O. B. Estudo comparativo de índices, para previsão de incêndios florestais, na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais 1991. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. & REIBEIRO, J.F. 2008. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Vol.1.
- SANTOS, L. A. C. et al. Fitofisionomias do Cerrado: definições e tendências: Cerrado phytophysiognomies: definitions and trends. *Élisée-Revista de Geografia da UEG*, v. 9, n. 2, p. e922022-e922022, 2020.
- SANTOS, S. A. et al. Guia para uso do fogo no manejo de pastagem em nível de fazenda no Pantanal. 2020.
- SARI, F. Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, v. 480, p. 118644, 2021.
- SHIMABUKURO, Y.E.; MAEDA, E.E.; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. *Ceres*, v. 56, n. 4, 2009.
- SILVA, C. V. J.; COSTA, O. B.; MATRICARDI, E. A. T. 2017. Detecção de cicatrizes do fogo na vegetação Cerrado do distrito federal entre 1999 a 2011. *Revista Brasileira de Cartografia*, 4, p.687-699.
- SILVA, D. M. et al. Os efeitos dos regimes de fogo sobre a vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade. *Biodiversidade Brasileira*, v. 1, n. 2, p. 26-39, 2011.
- SILVA JÚNIOR, M.C.; Barros, M.F. & Cândido, J.F. 1987. Relações entre parâmetros do solo e da vegetação de cerrado na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG. *Revista Brasileira de Botânica* 10: 125-137.
- DA SILVA, F.S. et al. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no Cerrado maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019.

- DA SILVA ARRUDA, V.L. et al. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). *Fire Ecology*, v. 20, n. 1, p. 64, 2024.
- DA SILVA FREITAS, L. C.; DE SOUZA CAVALCANTI, L. C.; BRAZ, A. M. Avaliação da acurácia das classes de uso e cobertura da terra do Mapbiomas (Coleção 6) para o município de Carpina (PE). *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 2, n. 45, p. 38-52, 2023.
- DA SILVA SEABRA, V.; VICENS, R. S.; CRUZ, C. B. M. Conceito de paisagem numa perspectiva geossistêmica. *Revista Ambientale*, v. 4, n. 1, p. 30-42, 2013.
- SILVERMAN, B. W. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Nova York: Chapman and Hall, 1986.
- SCHUMACHER, M. V. et al. *Incêndios Florestais*. 2. ed. rev. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. 129p. (Coleção ciências rurais, 13).
- SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio São João, RJ. *Sociedade & Natureza*, v. 25, p. 411-426, 2013.
- SOARES, R.V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. *Floresta*, v. 30, n. 1, p. 11-21, 2000.
- SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. *Incêndios Florestais - Controle, Efeitos e Uso do Fogo*. Curitiba: FUPEF, 2007. 250p.
- SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's forest code. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.
- TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.
- TRINDADE, J. P. P.; QUADROS, F. L. F. de; PILLAR, V. D. Vegetação campestre de areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul sob pastejo e com exclusão do pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 771-779, 2008.
- TURNER, B. L.; MEYER, W. B. Global land-use and land-cover change: an overview. *Changes in land use and land cover: a global perspective*, v. 4, n. 3, 1994.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Campo úmido alagável. Disponível em <https://www.ufrgs.br/floracampestre/campo-umido-alagavel/>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Queimadas atingem todo o País, de 18 mar. 2024. Disponível em <https://jornal.usp.br/radio-usp/jornal-da-usp-no-ar-2/queimadas-atingem-todo-o-pais-e-comprometem-camada-de-ozonio/>. Acesso em 06 dez. 2024.
- WALTER, H. 1986. *Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global*. São Paulo: EPU.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Strong El Niño this year appears unlikely, de 27 maio 2019. Disponível em <https://wmo.int/news/media-centre/strong-el-nino-year-appears-unlikely>. Acesso em 06 dez. 2024.