

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

KELLYSSA LOREN DE LIMA E ALVARENGA

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRIÂNGULO MINEIRO E A RELAÇÃO COM  
FOCOS DE QUEIMADAS DE 2010 A 2020

Uberlândia – MG

Abril/2022

KELLYSSA LOREN DE LIMA E ALVARENGA

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRIÂNGULO MINEIRO E A RELAÇÃO COM  
FOCOS DE QUEIMADAS DE 2010 A 2020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Samara Carbone

Uberlândia – MG

Abril/2022

KELLYSSA LOREN DE LIMA E ALVARENGA

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO TRIÂNGULO MINEIRO E A RELAÇÃO COM  
FOCOS DE QUEIMADAS DE 2010 A 2020

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Ciências Agrárias da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Uberlândia – MG, 07/abril/2022

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Samara Carbone  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Roberto Terumi Atarassi  
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico todo meu esforço e empenho àquela que sempre se dedicou a mim, me dando o privilégio de desfrutar da arte de aprender: mãe.

*“Somos mais poderosos do que nunca, mas temos pouquíssima ideia do que fazer com todo esse poder. Pior ainda, os humanos parecem mais irresponsáveis do que nunca. Deuses feitos por si próprios, tendo apenas as leis da física para nos fazer companhia, não prestamos contas a ninguém por nossos atos. Consequentemente, estamos devastando nossos amigos animais e o ecossistema que nos cerca, buscando pouco mais que nosso próprio conforto e divertimento sem jamais encontrar satisfação. Existe alguma coisa mais perigosa que deuses insatisfeitos e irresponsáveis que não sabem o que querem?”*

(HARARI, Sapiens, 2020, p. 438)

## RESUMO

A ocorrência de focos de queimadas é recorrente em diversos ecossistemas brasileiros, resultando em degradação da qualidade do solo, da água e do ar, além de impactar a biodiversidade da flora, fauna e microbiota. No Triângulo Mineiro, uma região do estado de Minas Gerais, esses fenômenos são ocasionados, predominantemente, por atuação antrópica, deteriorando os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a evolução do uso e ocupação do solo e a dinâmica da distribuição espacial de focos de queimadas no Triângulo Mineiro ao longo da série temporal de 2010 a 2020. Para tanto, foram utilizadas informações de focos de calor do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e de uso e ocupação do solo da iniciativa MapBiomas. O processamento dos dados foi realizado em Sistema de Informação Geográfica com posterior análise de correlação estatística a partir do coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados desta pesquisa mostraram que 86% da região é coberta por áreas antropizadas, evidenciando a intensa supressão da vegetação nativa do Triângulo Mineiro. Nesse sentido, a maioria dos focos de queimadas absolutos ocorreram em áreas de uso antrópico, destinadas, sobretudo, a culturas de soja e cana-de-açúcar. Em relação às áreas nativas, a maior incidência foi registrada em formações campestres, possivelmente devido à maior vulnerabilidade dessa vegetação ao fogo. Além disso, a distribuição espacial dos focos de calor por área evidenciou maior concentração em nível de bioma na Mata Atlântica, em nível de microrregião em Uberaba e Uberlândia. Não se observou correlação com significância estatística entre a dinâmica da área ocupada pelos distintos usos do solo e os focos de queimadas correspondentes. A conversão de cobertura do solo em outros usos tende a ocorrer em períodos mais longos do que anualmente, indicando que o fogo ainda é empregado para manutenção das atividades já existentes no solo do Triângulo Mineiro, apesar dos impactos negativos decorrentes.

**Palavras-chave:** Focos de calor. Incêndio Florestal. Cerrado. Mata Atlântica. Atividades agropecuárias.

## ABSTRACT

Fire hotspots are recurrent in several Brazilian ecosystems, resulting in soil, water, and air quality degradation and impacting the biodiversity of flora, fauna, and microbiota. In the Triângulo Mineiro, a region in Minas Gerais, Brazil, these events are predominantly caused by human activities, deteriorating the Cerrado and Atlantic Forest biomes. This study evaluates the evolution of land use and land cover and the dynamics of the spatial distribution of fire hotspots in the Triângulo Mineiro from 2010 to 2020. The methodology used the National Institute for Space Research database for fire hotspots data and land use and land cover information from the MapBiomas initiative. The data processing was executed in a Geographic Information System with subsequent statistical correlation analysis from Pearson's correlation coefficient. Results showed that 86% of the region is covered by anthropized areas, evidencing the intense suppression of native vegetation in the Triângulo Mineiro. In this context, most of the absolute fires occurred in areas of anthropic use, destined, above all, to soybean and sugar cane crops. Concerning native areas, the highest incidence was registered in grassland formations, possibly due to the greater vulnerability of this vegetation to fire. Additionally, the spatial distribution of fire hotspots by area showed a higher concentration at the biome level in the Atlantic Forest and the micro-region level in Uberaba and Uberlândia. No correlation with statistical significance was observed between the dynamics of the area occupied by the different land uses and the corresponding fire hotspots. The land cover conversion into other uses tends to occur in more extended periods than annually, indicating that fire is still employed to maintain activities already existing in the soil of the Triângulo Mineiro, despite the negative impacts caused by it.

**Keywords:** Fire hotspots. Wildfire. Cerrado. Atlantic Forest. Agribusiness.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Localização geográfica da região do Triângulo Mineiro .....	26
<b>Figura 2.</b> Municípios compreendidos na região do Triângulo Mineiro .....	27
<b>Figura 3.</b> Tipos de relevo compreendidos na região do Triângulo Mineiro .....	28
<b>Figura 4.</b> Tipos de biomas compreendidos na região do Triângulo Mineiro .....	29
<b>Figura 5.</b> Tipos e distribuição de uso e ocupação do solo compreendidos na região do Triângulo Mineiro no ano de 2020 .....	30
<b>Figura 6.</b> Esquema das etapas aplicadas no procedimento metodológico de processamento dos dados .....	33
<b>Figura 7.</b> Gráfico da evolução do uso e ocupação do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	35
<b>Figura 8.</b> Gráfico da evolução das ocupações nativas do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	37
<b>Figura 9.</b> Gráfico da evolução dos usos agropecuários do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	38
<b>Figura 10.</b> Gráfico da evolução da ocupação de infraestrutura urbana no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	39
<b>Figura 11.</b> Frequência de ocorrência (%) e valores acumulados dos focos de queimadas nas microrregiões do Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	41
<b>Figura 12.</b> Distribuição espacial da estimativa de densidade de Kernel dos focos de queimadas no Triângulo Mineiro com divisão das microrregiões de 2010 a 2020 .....	42
<b>Figura 13.</b> Número de FQ identificados nas microrregiões do Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	43
<b>Figura 14.</b> Número de FQ identificados nos biomas do Cerrado e Mata Atlântica do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020 .....	44
<b>Figura 15.</b> Número de FQ identificados nos usos e ocupações do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020 .....	45
<b>Figura 16.</b> Número de FQ identificados nos usos nativos do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020 .....	47
<b>Figura 17.</b> Número de FQ identificados nos usos agropecuários do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020 .....	48



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação das bases de dados e características das informações coletadas para a pesquisa .....	31
<b>Tabela 2.</b> Relação dos usos do solo em que foram identificados focos de queimadas para os biomas de Cerrado e Mata Atlântica no período de 2010 a 2020 .....	34
<b>Tabela 3.</b> Proporção dos usos e ocupação do solo no Triângulo Mineiro em 2010 e 2020 .....	40
<b>Tabela 4.</b> Valores da correlação estatística de Pearson entre os FQ e as áreas ocupadas pelos usos e ocupações do solo em que foram detectados no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020 .....	50
<b>Tabela 5.</b> Número de FQ que ocorreram nas áreas em que houve mudança no uso e ocupação do solo .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CH	Circunscrição Hidrográfica
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FQ	Foco de queimada
GD8	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Baixo Rio Grande
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE	Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais
MapBiomass	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra do Brasil
MP	Material Particulado
PCI	Programa de Crédito Integrado e Incorporação dos Cerrados
PIB	Produto Interno Bruto
PN1	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Rio Paranaíba
PN2	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari
PN3	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba
POLOCENTRO	Programa de Desenvolvimento dos Cerrados
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados
RL	Reserva Legal
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIF	<i>Tagged Image File</i>
UC	Unidade de Conservação
UEG	Unidades Estratégicas de Gestão
UTM	Universal Transversa de Mercator
XLSX	Formato de arquivo do <i>software Microsoft Excel</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
4.1 Histórico de ocupação do Triângulo Mineiro .....	17
4.2 Biodiversidade e conservação do Cerrado .....	18
4.3 Biodiversidade e conservação da Mata Atlântica .....	20
4.4 Impactos negativos das queimadas nos ecossistemas .....	22
4.5 Sensoriamento remoto e detecção de focos de calor .....	23
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
5.1 Área de estudo .....	26
5.2 Bases de dados .....	31
5.3 Processamento de dados .....	31
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
6.1 Evolução dos usos e ocupação do solo .....	34
6.2 Distribuição da densidade espacial de focos de queimadas .....	41
6.3 Distribuição dos focos de queimadas nos biomas .....	44
6.4 Relação entre focos de queimadas e usos e ocupação do solo .....	45
6.5 Relação entre focos de queimadas e mudanças nos usos e ocupação do solo .....	50
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os incêndios caracterizam-se pelo processo de interação entre três elementos básicos: material combustível, gás oxigênio comburente e temperatura de ignição. Como resultado dessa reação há liberação de fogo e calor, além da emissão de gases e aerossóis para a atmosfera. A ocorrência desses fenômenos é recorrente na maioria dos ecossistemas vegetados do planeta e contribui para a configuração desses ambientes (KAISER *et al.*, 2011).

Tendo em vista essa dependência de interação entre combustível, comburente e temperatura para geração de fogo, constata-se que a distribuição espaço-temporal de queimadas é influenciada pelas condições do meio. As características e disponibilidade de material combustível interferem na susceptibilidade da área a incêndios (JESUS *et al.*, 2020), assim como o estado meteorológico pode determinar o início, duração, propagação e direção do fogo (JUSTINO; SOUZA; SETZER, 2002).

De modo geral, as queimadas podem ter origem natural, relacionadas às características inerentes ao ecossistema, ou antropogênica, ligada aos interesses e atividades desenvolvidas pela sociedade. Considerando a escala mundial, estima-se que apenas 10% dos incêndios possuem ocorrência natural, enquanto 90% são atribuídos a ação humana (MATAVELI; CHAVES, 2014).

Tendo em vista os países tropicais, as queimadas são integrantes das culturas locais, sendo, geralmente, ocasionadas de forma irregular, sem técnicas de controle e autorização prévia do órgão ambiental competente (ALVES, 2018). Além disso, esses países contribuem com a maior parcela global do mais relevante gás de efeito estufa antropogênico, o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), devido, exatamente, às mudanças no uso da terra (ROSENDO; ROSA, 2012).

No Brasil, os biomas mais susceptíveis à ocorrência de queimadas são a Amazônia e o Cerrado (JESUS *et al.*, 2020). Essas duas áreas representam espaços extremamente relevantes na conservação da biodiversidade, sendo considerados *hotspots*, juntamente ao bioma da Mata Atlântica (MYERS *et al.*, 2000). O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e a savana tropical mais diversificada do mundo (KLINK; MACHADO, 2005) em termos de espécies, variação genética e ecossistemas (MURPHY, 1997).

Nesse bioma, a vegetação é altamente inflamável durante a estação seca (DURIGAN; RATTER, 2016). Assim, os incêndios ocorrem, predominantemente, por atuação antrópica e relacionam-se a expansão de áreas destinadas à agropecuária, controle de pragas, remoção de vegetação seca, dentre outros fatores relativos a esse tipo de atividade econômica (MATAVELI; CHAVES, 2014). Considerando a região do Triângulo Mineiro,

predominantemente coberta pelo Cerrado, pode-se ressaltar ainda que esses fenômenos estão ligados, por exemplo, a sistemas de colheita de cana-de-açúcar (DIAS; ROSENDO, 2020) e ao desenvolvimento de atividades agrícola de modo geral (SANTOS, 2019).

Além do Cerrado, uma parcela do Triângulo Mineiro é coberta por Mata Atlântica, um ecossistema também ameaçado historicamente por pressão antrópica. As principais formas de exploração do bioma remetem a mineração industrial (MAPBIOMAS, 2021d), urbanização desordenada, indústria madeireira, silvicultura e caça, assim como as atividades de agricultura e pecuária, que regularmente acarretam na ocorrência de incêndios (D'ARRIGO; LORINI; RAJÃO, 2020).

Os impactos ocasionados pelas queimadas são bastante diversos, abrangendo desde a alteração de serviços ecossistêmicos locais e interferência nos ciclos biogeoquímicos, até a influência no clima local, regional e até mesmo global (ICHOKU; KAHN; CHIN, 2012). Pode-se destacar ainda a alteração da qualidade do solo, redução de produtividade vegetal, mudanças no regime hidrológico, além da perda de biodiversidade (CHAVES *et al.*, 2019).

Ademais, é importante ressaltar que as queimadas são uma fonte de poluição atmosférica. Anualmente, os focos ocorrentes nos países em desenvolvimento nos trópicos correspondem a aproximadamente 87% do total de emissões globais em base massa (FREITAS *et al.*, 2005). Os principais poluentes liberados são Material Particulado (MP) inalável, fuligem, CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) e Compostos Orgânicos Voláteis (COV) (CARMO; HACON, 2013).

À vista disso, alguns dos prejuízos ocasionados ao ambiente pela poluição atmosférica são danos e lesões vegetais, chuva ácida e acidificação de corpos hídricos, alteração do balanço radiativo, degradação da visibilidade, intensificação do efeito estufa, etc. (VALERRO, 2008). No contexto da saúde pública, os maiores danos observados à população referem-se a problemas no sistema respiratório, circulatório e oftalmológico, sobretudo de grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos e indivíduos já acometidos por outras doenças (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

Diante da complexidade dos impactos ambientais e sociais decorrentes queimadas, destaca-se a necessidade de tecnologias que possibilitem a análise sistêmica desse cenário. Nesse âmbito, pode-se utilizar o sensoriamento remoto, a ciência de aquisição de informações espaciais sem a necessidade de contato direto com a área, objeto e/ou fenômeno de interesse. Para tanto, baseia-se na transferência de dados a partir dos processos de interação entre a radiação eletromagnética e os alvos de estudo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Dessa forma, torna-se possível a identificação de queimadas em qualquer superfície selecionada a partir da emissão de energia na faixa termal do espectro óptico (INPE, 2020).

Considerando esses produtos do sensoriamento remoto e as características da região de estudo, pode-se investigar a ocorrência de queimadas e descrever o regime de fogo, associando-o a dinâmicas temporais, espaciais e ao uso e ocupação do solo, a fim de delinear formas de monitoramento e prevenção desses fenômenos.

## 2 JUSTIFICATIVA

O desmatamento do Cerrado avança cerca de 1,5% ao ano, resultando em perda de cerca da metade da área total original (MACHADO *et al.*, 2004). A ocorrência de queimadas e incêndios no bioma, que predomina durante a estação seca, apresenta o maior número entre os demais do país, dada sua extensão territorial (LIMA, 2018). Nesse contexto, apenas 8,3% da área remanescente do Cerrado encontra-se legalmente protegida, fazendo com que grande parcela permaneça vulnerável e ameaçada (SANTOS, 2018).

Já a degradação da Mata Atlântica resulta em perda de aproximadamente 90% do total do bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020). Esse cenário é decorrência de uma ocupação exploratória desde o período colonial, que gera perda e fragmentação de habitats ao longo de todo o bioma. Conseqüentemente observam-se ecossistemas disfuncionais com elevada perda de biodiversidade (PINTO *et al.*, 2006; D'ARRIGO; LORINI; RAJÃO, 2020). Reforçando a problemática, os focos de queimadas têm aumentado ao longo dos anos, com crescimento de 100% das ocorrências em 2021 quando comparado ao total registrado em 2012 (INPE, 2022).

Então, diante da ameaça, impactos decorrentes e importância de preservação destes biomas, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas diagnósticas acerca da área. As informações geradas são relevantes nos processos de tomada de decisão da gestão do ambiente, fornecendo embasamento científico para intervenção e fiscalização, além de suportar o desenvolvimento de novas políticas públicas.

### 3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a dinâmica da distribuição espacial de focos de queimadas detectados por produtos do sensoriamento remoto na região do Triângulo Mineiro ao longo da série temporal de 2010 a 2020.

Sendo assim, os objetivos específicos são:

- Avaliar a evolução dos usos e ocupações do solo ao longo do tempo;
- Verificar a existência de relações entre os focos de queimadas e o uso e ocupação do solo;
- Examinar a contribuição das mudanças de uso e ocupação do solo para a ocorrência de queimadas.



## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Histórico de ocupação do Triângulo Mineiro

As primeiras formas de ocupação moderna no Triângulo Mineiro remontam ao período de exploração de metais preciosos no Brasil, que se concentrou em regiões do Mato Grosso, Goiás e no centro de Minas Gerais. Nesse contexto, o Triângulo Mineiro caracterizou-se, inicialmente, apenas como uma passagem que interligava essas áreas. Em seguida, a região foi evoluindo a partir do estabelecimento de viajantes, criando, assim, os primeiros núcleos de povoamento e permitindo o início de uma tênue produção agropecuária de subsistência (BRANDÃO, 1989).

Com a queda da mineração, no início do século XIX, o Triângulo Mineiro consolidou o desenvolvimento de atividades agrárias, sendo, nesta época, estabelecidas as primeiras propriedades de agricultores (MICHELOTTO, 2008). A produção pecuária era favorecida por características naturais da região, como a presença de pastagens nativas e a pluviosidade regular, por exemplo, além da proximidade com os centros de consumo de São Paulo, Mato Grosso e Goiás (BRANDÃO, 1989). Até o fim do século XIX, 6 dos 35 municípios existentes atualmente haviam sido criados e já se estruturavam como base econômica regional (GUIMARÃES, 2010).

A próxima etapa que contribuiu para a expressividade do Triângulo Mineiro no abastecimento e distribuição da produção primária, ou seja, ligada a agricultura extensiva e pecuária, foi a construção de estradas de ferro que interligavam diversas regiões do país. Essa consolidação rodoferroviária, até a primeira metade do século XX, tornou a região um importante e relevante entreposto comercial (BRANDÃO, 1989). Isso acarretou profundas transformações espaciais, criação de infraestrutura regional e intensificação do processo de urbanização (MARTINS, 1998).

Nesse período, municípios como Araguari, Uberaba e Uberlândia começaram a se dedicar também ao beneficiamento/processamento dos produtos agropecuários gerados localmente, bem como a atividades de comércio de produtos primários e semimanufaturados. Durante essa fase de diversificação econômica, geraram-se novas formas de integração entre áreas urbanas e rurais, que culminaram na constituição de um polo agroindustrial regional (MARTINS, 1998).

Tendo em vista a agropecuária, até meados do século XX a região dedicou-se prioritariamente à criação extensiva de gado para corte e produção de leite, além da agricultura

tradicional. Entretanto, o fomento do Estado a modernização das atividades agrárias, motivado pela forma capitalista de produção no campo (OLIVEIRA, 2016), tornou o Triângulo Mineiro uma zona de elevado interesse para expansão da fronteira agrícola (PESSÔA, 2007).

A expansão do meio técnico-científico-informacional amparou a introdução de inovações tecnológicas para enfrentar as limitações nativas da região, como a acidez do solo e a baixa fertilidade natural, por exemplo (LOPES; COX, 1977; PESSÔA, 2007). Dentre os programas governamentais que investiram no Triângulo Mineiro nesse âmbito é importante destacar o Programa de Crédito Integrado e Incorporação dos Cerrados – PCI (criado em 1972), o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados – POLOCENTRO (criado em 1975) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados – PRODECER (criado em 1976).

De modo geral, essas iniciativas voltaram-se para a concessão de créditos de subsídio a fim de custear as produções e melhorar a produtividade agrícola de culturas com grande importância econômica, a saber milho, soja, café e cana-de-açúcar. Além disso, os programas também promoveram a ocupação de regiões do Cerrado e a criação de propriedades rurais de grande porte, direcionadas à produção em larga escala para exportação (PESSÔA, 1988; ARACRI; AMARAL; LOURENÇO, 2011).

Dessa forma, a agricultura moderna expandiu-se de modo rápido no Cerrado mineiro, sendo que o Triângulo Mineiro, dotado desse histórico, é a principal área agropecuária do estado. A região continua sendo alvo de investimentos governamentais e compreende municípios especializados na produção de *commodities* agrícolas. Além disso, dispõe ainda de inovações de ordem biológica, química e mecânica, bem como a aplicação de agricultura de precisão, que torna a região, com o Alto Paranaíba, a maior responsável pelo Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário de Minas Gerais (SANTOS, 2019).

## **4.2 Biodiversidade e conservação do Cerrado**

O Brasil Central é majoritariamente coberto pelo Cerrado, sendo este o segundo maior bioma do país, além de ser savana tropical mais biodiversa do mundo (KLINK; MACHADO, 2005; MYERS *et al.*, 2000). Essa expressividade associa-se, em grande parte, à diversidade de ambientes abrigados pelo bioma. Como o Cerrado ocupa extensas áreas, há heterogeneidade espacial suficiente para o desenvolvimento de ecossistemas diversos, com fitofisionomias variando desde formações florestais, como os cerradões, até formações campestres, com campos limpos e rupestres (MACHADO *et al.*, 2004; RIBEIRO; WALTER, 2008).

O Cerrado é caracterizado, então, por um mosaico de vegetação que forma gradientes estruturais determinados, principalmente, pelas condições do solo (DURINGAN; RATTER, 2016). A pedologia do bioma é variada, mesmo apresentando atributos comuns, como a acidez e a pobreza nutricional. Algumas classes de solos encontrados são Latossolo, Argissolos, Cambissolo, Organossolo e Neossolo, por exemplo (IBGE, 2015). A complexidade das estruturas físico-químicas destes diferentes solos reflete e molda a diversidade e abundância da microbiota presente (SOUZA; PROCÓPIO, 2021). Além disso, fatores morfológicos e climáticos também são importantes para a definição das paisagens.

A multiplicidade de habitats acarreta elevada biodiversidade vegetal e animal, em termos de espécies, funções ecológicas e variedade genética (MURPHY, 1997). O Cerrado compreende cerca de 10 mil espécies da flora, número superior àquele encontrado na maioria das regiões do mundo, sendo 44% destas endêmicas. Além disso, também há riqueza da avifauna, herpetofauna e entomofauna (KLINK; MACHADO, 2005; MYERS *et al.*, 2000).

Entretanto, apesar desse cenário, cerca de 45% da cobertura original já foi desmatada (MAPBIOMAS, 2021b). A expansão antrópica sob o Cerrado acarretou na conversão da vegetação nativa, predominantemente, em pastagens plantadas e culturas anuais (OLIVEIRA; PIETRADESA; BARBALHO, 2008). Esse avanço constitui-se como a principal ameaça ao bioma, gerando impactos em diversos níveis e escalas. Entre os anos de 1985 e 2020 houve perda líquida de cerca de 20% da vegetação nativa, enquanto a área destinada à agricultura cresceu 5,6 vezes (MAPBIOMAS, 2021b).

O desenvolvimento de atividades agropecuárias na extensão do bioma culmina na fragmentação de habitats, extinção de espécies nativas, introdução de espécies exóticas, degradação do solo, deterioração de ecossistemas, mudanças climáticas regionais, dentre outros impactos (KLINK; MACHADO, 2005). Diante disso, a região do Cerrado é definida como um *hotspot*, ou seja, uma área prioritária para conservação ambiental imediata, em decorrência dessa elevada degradação e enorme diversidade biológica (MYERS *et al.*, 2000).

Além disso, outra ameaça presente é a alta frequência de ocorrência de queimadas e incêndios. Naturalmente, a fitoecologia do Cerrado é muito inflamável durante épocas de estiagem, assim como outras savanas do mundo (DURINGAN; RATTER, 2016). Logo, sendo o clima da região estacional, com um período chuvoso e outro seco, essa facilitação inerente ao fogo torna o bioma bastante suscetível e vulnerável a esse tipo de degradação. Entre os anos de 1985 e 2020 o Cerrado foi o bioma com maior ocorrência desses fenômenos, com 44% do total nacional, sendo que a área queimada acumulada chegou a 36% (MAPBIOMAS, 2021c).

No estado de Minas Gerais, há maior concentração dos focos de queimadas nas regiões de transição do Cerrado com outros biomas, além das áreas tradicionalmente ocupadas por atividades agropecuárias (PEREIRA *et al.*, 2013; MATAVELI; CHAVES, 2014). Entre 1999 e 2009 detectou-se a média anual de 6121 focos de calor (FQ) a uma densidade de 1,1 FQ por 1000 hectares. Neste mesmo período, cerca de 30% dos municípios mineiros apresentaram densidade de focos acima da média estadual (PEREIRA *et al.*, 2014). Além disso, há acréscimo do número de ocorrências de focos de calor entre os meses de junho e outubro, com pico em setembro, em concordância com a estação seca característica (LIMA, 2018; ALVARENGA; CARBONE, 2021).

Nesse cenário, as Unidades de Conservação (UC) constituem-se como um instrumento válido e necessário de oposição à devastação do Cerrado. Todavia, apenas 8,3% da área do bioma encontra-se legalmente protegida, sendo 5,1% em UC de uso sustentável, predominantemente em Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) e Área de Proteção Ambiental (APA), e apenas 3% em UC de proteção integral, principalmente em parques nacionais e estaduais. Considerando a distribuição, essas unidades estão concentradas no Distrito Federal, nordeste de Goiás, leste de Minas Gerais e em São Paulo (SANTOS, 2018).

Essas UC, portanto, não conseguem representar a heterogeneidade do Cerrado, fazendo com que o bioma permaneça ameaçado. Do total de espécies da flora e da fauna, menos de 30 são de fato protegidas (MACHADO *et al.*, 2004). Diversas unidades enfrentam problemas na fiscalização de atividades ilegais e não apresentam planos de manejo atuais e consistentes (ICMBIO; WWF-Brasil, 2012), além de também serem registrados FQ nesses espaços (CARDOZO *et al.*, 2018). Portanto, a política brasileira de preservação e conservação é falha e inócua, não impedindo os processos de conversão da vegetação nativa em outros usos.

### **4.3 Biodiversidade e conservação da Mata Atlântica**

A Mata Atlântica é o quarto maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 13% do país (MAPBIOMAS, 2021a). A distribuição original estendia-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, concentrando-se no litoral, mas também abrangendo o interior dos estados da região sul, além de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (PINTO *et al.*, 2006). Atualmente, os remanescentes de vegetação nativa no estágio primário e nos estágios secundário inicial, médio e avançado de regeneração possuem uso e conservação protegidos pela Lei nº 11428/2006 (BRASIL, 2006), conhecida como Lei da Mata Atlântica.

A extensão do bioma abriga diversidade de características climáticas, pedológicas e geomorfológicas, por exemplo, resultando em complexidade e variedade, sobretudo, fitofisionômica. Algumas classes de solos encontrados são Latossolo, Argissolos e Cambissolo, por exemplo (IBGE, 2015). Os ecossistemas que compõem a Mata Atlântica abrigam quase 20 mil espécies vegetais, sendo 40% destas endêmicas. Em relação à fauna, o bioma possui cerca de 850 espécies de aves, 370 de anfíbios, 300 de répteis, 270 de mamíferos e 350 de peixes (FORZZA *et al.*, 2012). A microbiota também é bastante diversa, sendo sua distribuição e abundância em concordância a composição do solo e estado de degradação dos ambientes (BALDEZ *et al.*, 2020).

Todavia, a intensa exploração da Mata Atlântica resultou no remanescente aproximado de apenas 10% do bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020). O início da ocupação da área remete a época da colonização do Brasil. Os primeiros, maiores e principais núcleos urbanos e industriais ocorreram e ainda estão consolidados nessas áreas. A concentração da população e o desenvolvimento de atividades econômicas acarretou alterações severas nos ecossistemas, contribuindo para a configuração do estado atual do bioma (D'ARRIGO; LORINI; RAJÃO, 2020).

Apenas cerca de 8,5% da área original do bioma é protegida legalmente em aproximadamente 1200 UC (AMARAL, 2020). Essas unidades, todavia, possuem fragilidades de natureza técnica e científica, situação fundiária indefinida, presença de população em unidades de proteção integral, ausência de recursos financeiros, instabilidade política de gestão ambiental, distribuição não equitativa ao longo da extensão do bioma, dentre outras dificuldades (PINTO *et al.*, 2006).

Nesse cenário, apesar da existência dessas UC e da Lei da Mata Atlântica, a degradação do bioma continua avançando. Entre os anos de 2018 e 2021, por exemplo, 57 mil ha foram desmatados, com velocidade média de 50,2 ha/dia (MAPBIOMAS, 2022). Essa fragmentação da Mata Atlântica afeta a quantidade e qualidade de habitats disponíveis à sobrevivência e preservação de espécies (PINTO *et al.*, 2006).

As principais pressões sobre o bioma remetem a expansão urbana desordenada e intenso povoamento, industrialização, padrões modernos de consumo, exploração predatória de madeira e minérios, além do desenvolvimento de atividades agropecuárias. A Mata Atlântica, então, é palco de atividades econômicas muito relevantes no Brasil, sendo responsável pela geração de aproximadamente 70% do PIB nacional (SOS MATA ATLÂNTICA, 2017).

Outra ameaça aos ecossistemas do bioma é o aumento da ocorrência de queimadas e incêndios. Em 2012 foram detectados 154 mil focos de calor na Mata Atlântica, enquanto em 2021 esse número foi praticamente o dobro, 309 mil. Entre os 15 estados que abrigam o bioma, destaca-se Minas Gerais, que concentrou 25% das incidências ao longo desta série de anos (INPE, 2022).

Diante então da riqueza biológica da Mata Atlântica ameaçada por este histórico complexo de degradação, o bioma é considerado um dos 35 *hotspots* para conservação da biosfera (MYERS *et al.*, 2000). A preservação do bioma, assim como do Cerrado, é importante para proteção da biodiversidade, garantia da integridade dos ecossistemas remanescentes, execução de manejos adequados conforme as especificidades regionais, além de assegurar qualidade de vida para populações humanas (PINTO *et al.*, 2006; AMARAL, 2020).

#### **4.4 Impactos negativos das queimadas nos ecossistemas**

Os atributos físicos, químicos e biológicos de um dado ecossistema são afetados direta e indiretamente pela ocorrência de fogo. Os efeitos dos incêndios e queimadas são relacionados às condições ambientais do meio, tipo de material combustível, além da intensidade, duração e frequência desses eventos (BATMANIAN, 1983; RODRIGUES, 1999). Tendo em vista que os diversos compartimentos do meio ambiente são interligados e interdependentes, os impactos podem ser observados no solo, na atmosfera, na microbiota, na vegetação, na fauna, em corpos hídricos, etc., como consequência dos processos dinâmicos da natureza.

Nesse contexto, o solo é identificado como o compartimento mais impactado (REDIN *et al.*, 2011). A ação do fogo pode ocasionar, na camada mais superficial, redução de matéria orgânica e do volume de macroporos, influenciando na porosidade geral e modificando as taxas de infiltração e evapotranspiração. Consequentemente, há diminuição do teor de umidade e no estoque e disponibilidade de água para as plantas. Além disso, pode acarretar compactação e aumento da densidade, levando a resistência à penetração das raízes vegetais. O fogo pode ainda expor o solo e aumentar o grau de suscetibilidade a erosões (MEIRELLES, 1990; CAVENAGE *et al.*, 1999; CASSOL *et al.*, 2004).

A queima pode ocasionar a perda de nutrientes a partir da oxidação da matéria orgânica e posterior lixiviação, a médio prazo, dos nutrientes mineralizados. Ademais, grande parte de nutrientes como Nitrogênio, Enxofre e Fósforo tendem ainda a ser volatilizados (SOARES, 1995). Logo, a redução na disponibilidade de nutrientes afeta os seres vivos dependentes dessas

fontes, enquanto sua transferência para outros compartimentos pode ocasionar desequilíbrios e/ou cenários de poluição (REDIN *et al.*, 2011).

As alterações no solo produzem também efeitos deletérios sobre as comunidades biológicas, que apresentam maior abundância nas camadas mais superficiais, ou seja, as mais afetadas pelo fogo. Assim, é comum observar redução nas populações da microbiota, diminuição da ciclagem de nutrientes e perda da capacidade produtiva do solo (ASSAD, 1996).

Já em relação à vegetação, a queima tem efeitos relevantes na modificação de sua estrutura, reduzindo, por exemplo, o número de indivíduos, a composição florística e a área basal dos troncos (LOPES; DO VALE; SCHIAVINI, 2009), além de reduzir capacidade de absorção de CO<sub>2</sub> (NUNES, 2021). Os danos à flora acabam tornando o solo e os corpos hídricos mais vulneráveis também (REIDIN *et al.*, 2011).

Existem ainda os impactos associados à fauna. O fogo ocasiona a morte, geralmente por incineração, elevação da temperatura ou asfixia/intoxicação ocasionada pela fumaça, da fauna edáfica, meso e macrofauna. Também ocorre destruição de ninhos e habitats, levando a perda de abrigos e restrições alimentares, capazes de desequilibrar a cadeia alimentar e expor espécies a riscos de extinção (REDIN *et al.*, 2011).

Ademais, a ocorrência de queimadas e incêndios também é responsável pela emissão do principal gás antrópico de efeito estufa, o CO<sub>2</sub>. Estima-se que a maior parte do Dióxido de Carbono lançado na atmosfera é proveniente dessas mudanças no uso da terra em países tropicais (ROSENDO; ROSA, 2012). Além disso, são emitidos ainda outros gases poluentes e altas concentrações de aerossóis, sendo estes capazes de alterar a composição química da atmosfera e perturbar os processos de formação de chuva, por exemplo (ARAÚJO *et al.*, 2007) afetando o ciclo hidrológico e o balanço de radiação (CHARLSON *et al.*, 1991; KUNIYAL; GULERIA, 2019).

De modo geral, portanto, a ação do fogo provoca uma série de modificações em diversos níveis e escalas dos ecossistemas, podendo ser pontuais ou permanentes e variando em grau conforme vários fatores do meio e da própria queima. Os prejuízos gerados são então considerados graves ameaças para a conservação da biodiversidade e manutenção dos processos ecológicos (REIDIN *et al.*, 2011).

#### **4.5 Sensoriamento remoto e detecção de focos de calor**

A dimensão da Terra confere ao planeta uma considerável variedade de ecossistemas e, conseqüentemente, reflete na formação de um mosaico natural diversificado. O dinamismo

ecológico é decorrente de elementos como a configuração geográfica, altitude, formas do relevo, recursos hídricos, cobertura do solo, tipos climáticos, assim como a atuação antropogênica (VIANELLO; ALVES, 2012).

Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a análise sistêmica desse cenário amplo e complexo. As ferramentas de pesquisa dessa ordem são indispensáveis frente à conjuntura contemporânea exploratória, que resulta em deterioração da qualidade ambiental, além da alteração dos serviços ecossistêmicos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Desse modo, a interação entre a radiação eletromagnética e a superfície terrestre apresenta-se como fundamento da ciência denominada sensoriamento remoto. Essa relação pode ocasionar fenômenos de reflexão, transmissão e/ou absorção, dependendo das características bio-físico-químicas dos alvos considerados (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Consequentemente, os sensores eletrônicos instalados em satélites artificiais assimilam essas respostas no formato de ondas do espectro eletromagnético e as enviam para estações terrestres de recepção (FLORENZANO, 2002). Então, o geoprocessamento desse material permite a conversão dos sinais em dados tangíveis acerca da superfície do planeta (MATAVELI *et al.*, 2018).

Sendo assim, a relevância do sensoriamento remoto é notada na produção de informações indispensáveis para compreensão da dinâmica da Terra, realizando diagnóstico dos efeitos ecológicos da antropização do meio, bem como estabelecendo uma base de dados para tomada de decisões relativas a esses impactos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

No cenário ambiental, portanto, o processamento de imagens de satélite pode ser aplicado, por exemplo, para monitoramento de queimadas, análise de cobertura vegetal, produtividade agrícola, modelagem de irradiância solar incidente, inferências de perfis atmosféricos, detecção de aerossóis, resposta fenológica as alterações antrópicas, monitoramento de sistemas aquáticos continentais, dentre outros cenários (FLORENZANO, 2002).

Considerando o contexto dos focos de incêndio no Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui uma base de dados relativa a essas ocorrências, o Programa Queimadas, que atua desde 1985. A partir da utilização de satélites polares e geostacionários, a detecção de queimadas é possível por meio da aplicação da Lei de Wien, que identifica a emissão de energia pelo alvo principalmente na faixa termal-média de 3,7  $\mu\text{m}$  a 4,1  $\mu\text{m}$  do espectro ótico (INPE, 2020).



Os incêndios detectados orbitalmente por satélites possuem, no mínimo, 30 m de extensão por 1 m de largura. Todavia, a relação existente entre foco e queimada não é direta, visto que o foco de calor indica a existência de fogo em um pixel, o menor elemento de composição de uma imagem. Considerando os satélites disponíveis, o tamanho do pixel pode variar de 375 m x 375 m a 5 km x 4 km. Dessa forma, em um único elemento de resolução da imagem podem existir várias fontes ativas de fogo, assim como uma única e extensa queimada pode ser detectada em pixels vizinhos (INPE, 2020).

À vista do conceito de foco de calor, é importante ainda distinguir queimada e incêndio. As queimadas referem-se a práticas controladas, delimitadas, previstas e planejadas de fogo, geralmente associadas a práticas de manejo. Por outro lado, os incêndios dizem respeito a queima descontrolada e imprevista incidente sobre determinada área (RIBEIRO; BONFIM, 2000).

Entretanto, deve-se considerar que existem limitações técnicas relativas à classificação dos fogos detectados a partir de satélites, sensores e imagens digitais. Então, nos locais com queima de vegetação identificados por sensoriamento remoto, os termos “foco de calor”, “foco de queimada” e “foco de incêndio” são sinônimos. Além disso, esses focos não são medidas precisas e absolutas da realidade da superfície, sendo indicadores da queima e seu número diretamente relacionado à extensão do fogo (INPE, 2020).

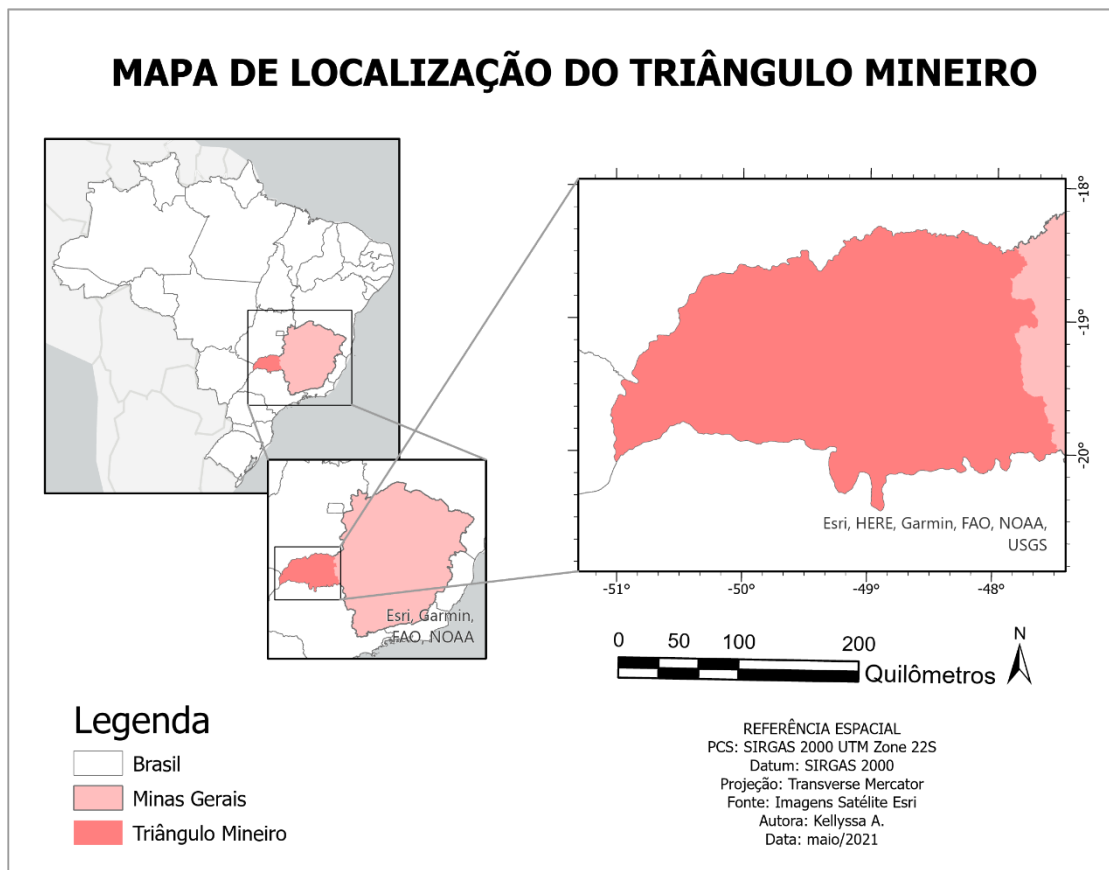
As informações de detecção, monitoramento operacional, cálculo e previsão de risco de fogo, a partir de 1998 sobre toda a América do Sul, são disponibilizadas de forma gratuita pela plataforma do INPE e podem ser exportadas para diversas finalidades. Os mapas e tabelas gerados apresentam os focos detectados por todos os satélites em operação e são indicadores da ocorrência de fogo. Os filtros da base de dados incluem países, estados, cidades, unidades de conservação, satélites e biomas (INPE, 2020).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Área de estudo

O estado de Minas Gerais situa-se na região sudeste do Brasil e divide-se em 12 mesorregiões e 66 microrregiões. O Triângulo Mineiro (Figura 1) localiza-se no extremo oeste do estado e é composto por 4 microrregiões, sendo elas Frutal, Ituiutaba, Uberlândia e Uberaba, responsáveis por abranger 35 municípios (Figura 2). A região compreende cerca de 9% do total da área estadual (MINAS GERAIS, 2010).

**Figura 1.** Localização geográfica da região do Triângulo Mineiro.

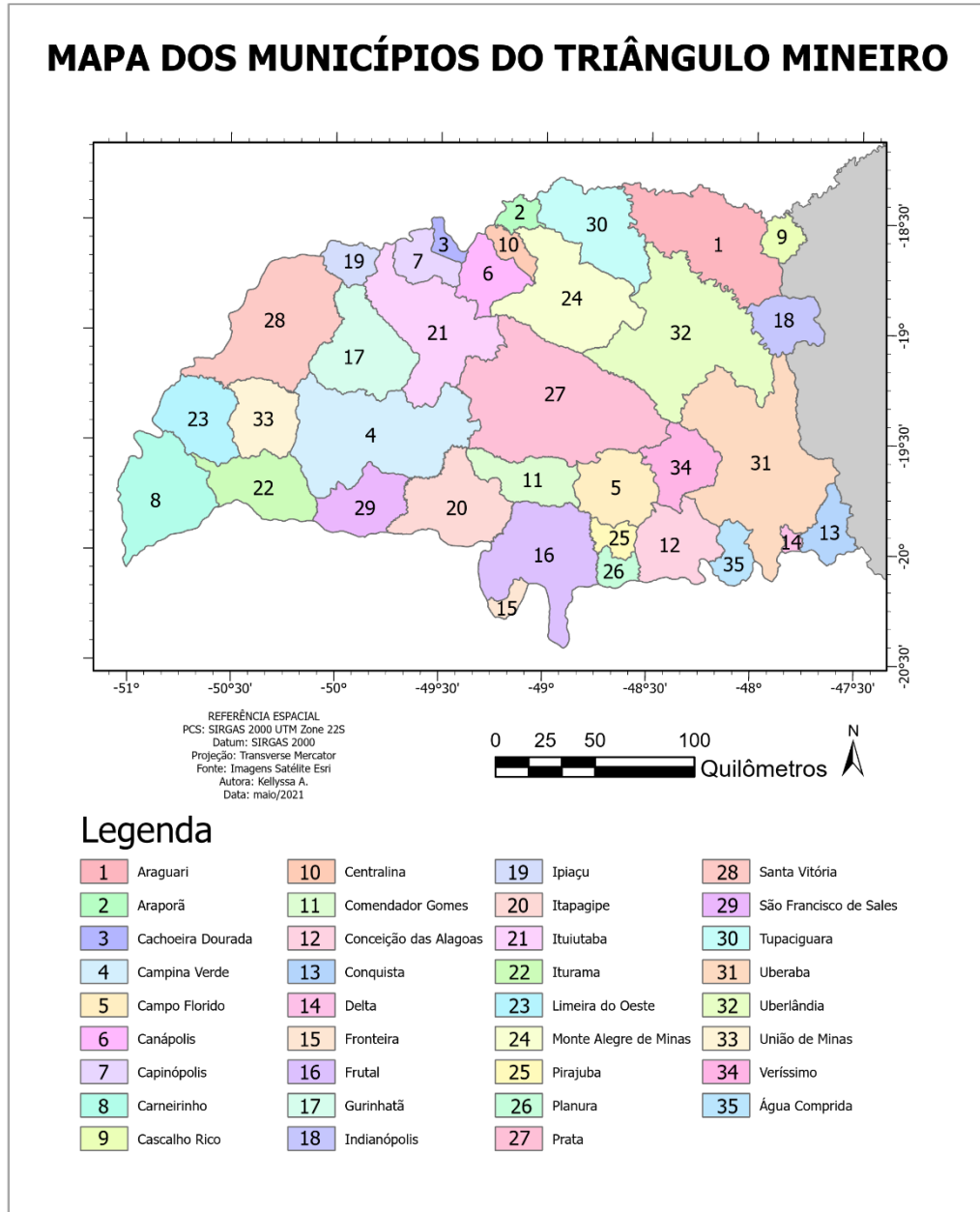


**Fonte:** A autora (2021).

A população estimada do Triângulo Mineiro é de 1,6 milhões de habitantes, correspondendo a cerca de 8% do total de Minas Gerais (IBGE, 2020). Nesse contexto, a cidade de Uberlândia destaca-se como a 2<sup>o</sup> mais populosa do estado, com estimativa de 700 mil habitantes. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos 35 municípios em questão possui uma média de 0,710. Em relação ao PIB, a região contribui com

aproximadamente 12% da soma de todos os bens e serviços finais produzidos no contexto estadual (IBGE, 2020).

**Figura 2.** Municípios compreendidos na região do Triângulo Mineiro.

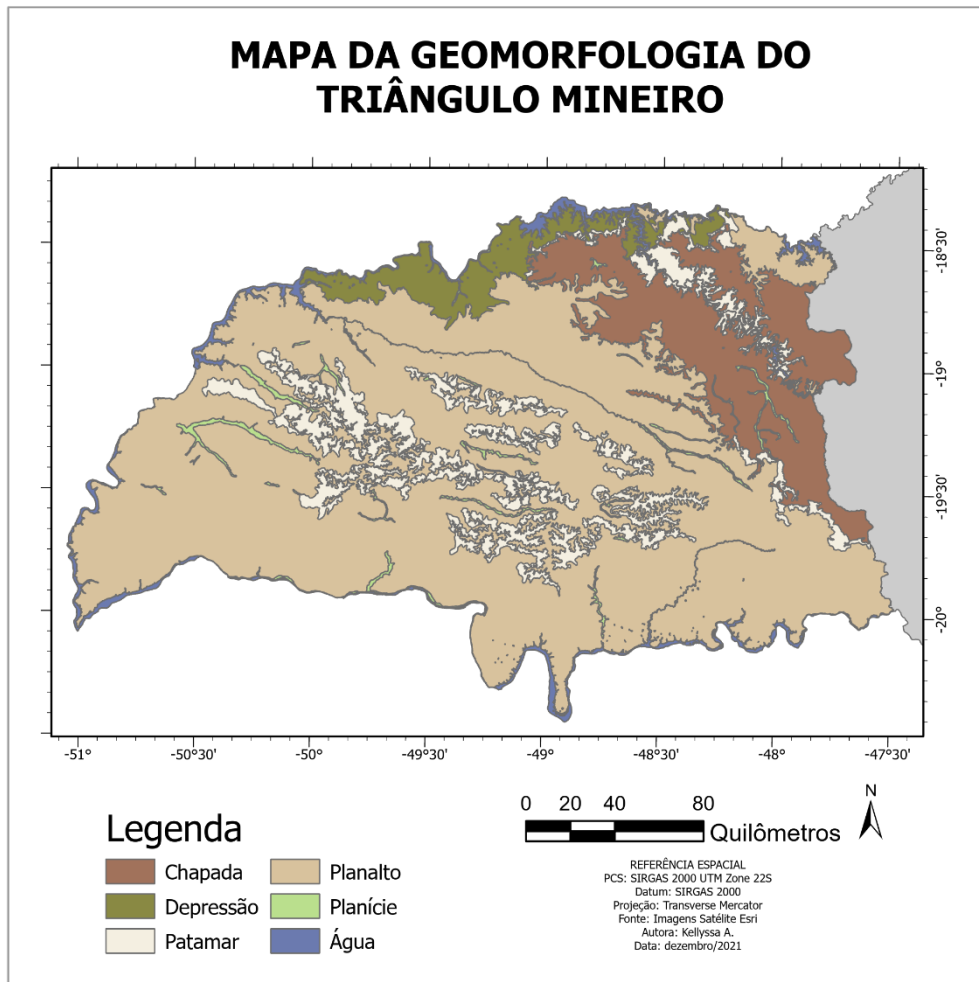


**Fonte:** A autora (2021).

A área é caracterizada pelo clima tropical úmido-seco com período de estiagem entre 4 e 5 meses (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), sendo a estação chuvosa entre setembro/outubro e abril/maio e a seca entre abril/maio e setembro/outubro (ROLDÃO;

ASSUNÇÃO, 2012). O relevo é formado por planaltos, chapadas, depressões, patamares e planícies (BACCARO *et al.*, 2001) (Figura 3).

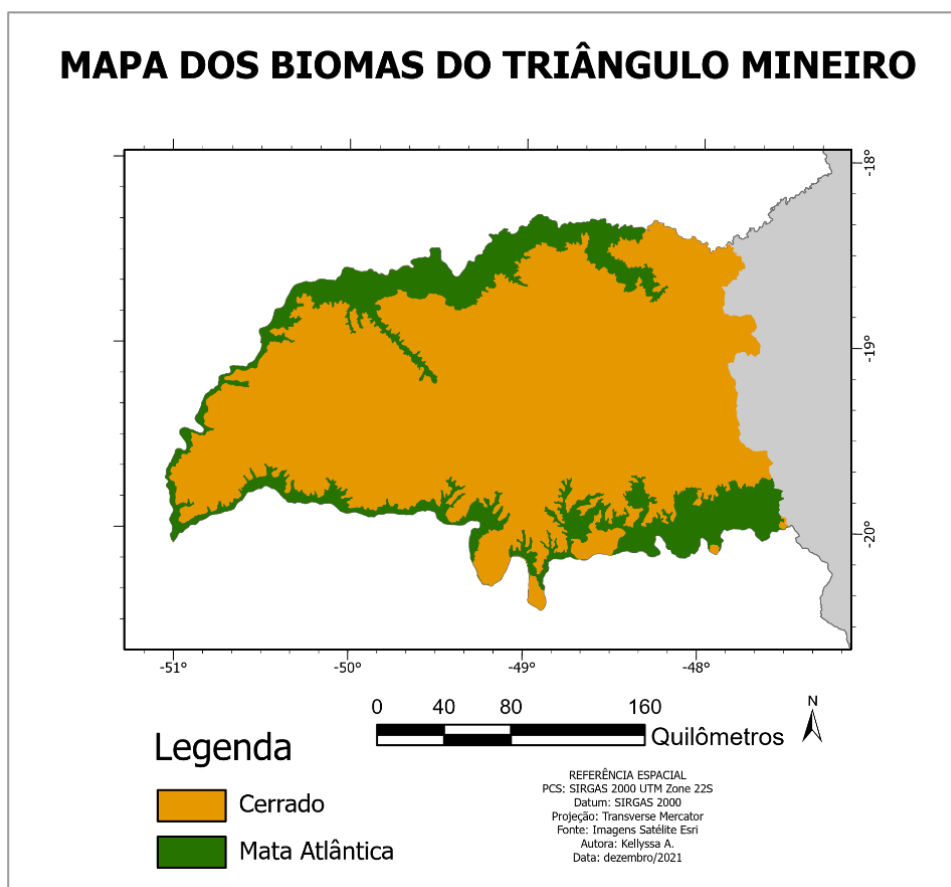
**Figura 3.** Tipos de relevo compreendidos na região do Triângulo Mineiro.



**Fonte:** A autora (2021).

A vegetação é constituída predominantemente por Cerrado, cerca de 85% da região, abrangendo ainda uma pequena parcela de Mata Atlântica (Figura 4) nas divisas de Minas Gerais com os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo, sendo caracterizada majoritariamente como ecótono (MAPBIOMAS, 2021e). Considerando a hidrologia, a área compreende parte das Unidades Estratégicas de Gestão (UEG) Afluentes do Rio Paranaíba (dividida em CH PN1, PN2 e PN3) e Afluentes do Rio Grande (correspondente à CH GD8) (IGAM, 2020).

**Figura 4.** Tipos de biomas compreendidos na região do Triângulo Mineiro.



**Fonte:** A autora (2021).

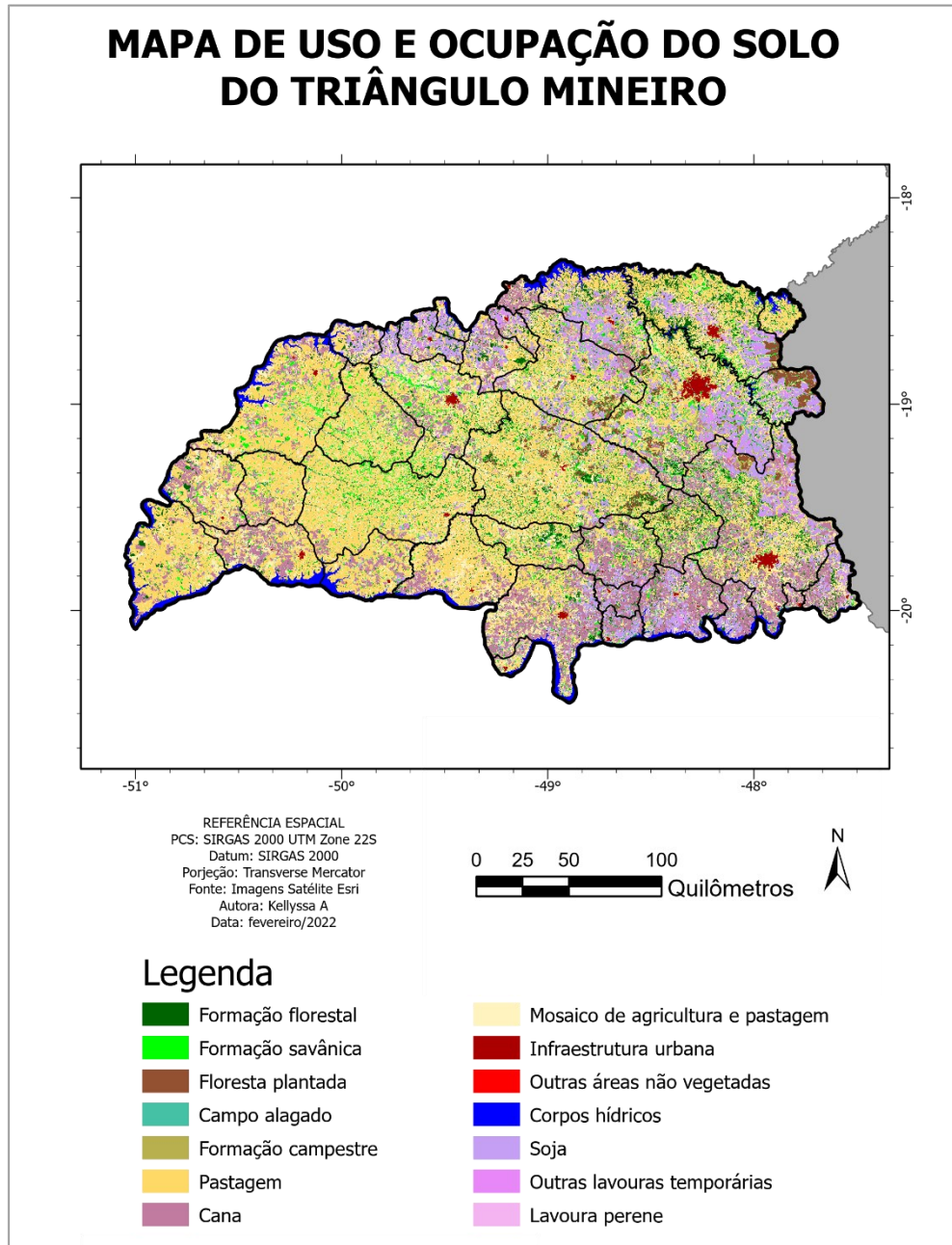
Além disso, o Triângulo Mineiro destaca-se no âmbito econômico devido a atividades como agropecuária, produção e o processamento de grãos, comércio atacadista e indústria de fertilizantes, por exemplo, além de representar um ponto estratégico de comunicação com rodovias importantes de outras regiões do país (AMM, 2014).

Dentre essas atividades, é importante ressaltar a consolidação da região como uma das grandes fronteiras de expansão do agronegócio nacional (SANTOS, 2019). A partir da década de 1970 com o apoio de políticas estatais, houve a instalação no local de grupos econômicos predominantemente estrangeiros dedicados à atuação no setor agropecuário (PEREIRA, 2012). Nesse sentido, as produções agrícolas mais evidentes do Triângulo Mineiro são relacionadas a culturas temporárias, a saber soja, milho e cana-de-açúcar (SANTOS, 2019).

As formas de uso e ocupação do solo encontradas na região são formação florestal, formação savânica, formação campestre, floresta plantada, campo alagado, corpos hídricos, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, cana-de-açúcar, soja, outras lavouras temporárias, lavoura perene, infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas (Figura 5).

Nesse contexto, é relevante ressaltar que existem diferenças conceituais entre uso e ocupação, mas, para fins deste estudo, essas palavras são utilizadas como sinônimos.

**Figura 5.** Tipos e distribuição de uso e ocupação do solo compreendidos na região do Triângulo Mineiro no ano de 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

## 5.2. Bases de dados

Para coleta das informações necessárias utilizou-se quatro bases de dados distintas (Tabela 1). A partir dos produtos disponibilizados pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), realizou-se o *download* do sistema de coordenadas *Word UTM Grid*. Considerando a malha municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obteve-se os dados vetoriais das linhas de divisas do Brasil, da unidade federativa de Minas Gerais e das microrregiões e municípios do Triângulo Mineiro.

Além disso, utilizou-se a base do MapBiomas para *download* das imagens anuais de uso e ocupação do solo dos biomas Cerrado e Mata Atlântica para o período de 2010 a 2020. Ademais, por meio do Programa Queimadas do INPE, exportou-se as informações da localização geográfica dos focos de queimadas anuais de Minas Gerais, geradas pelos satélites AQUA/TERRA, para cada ano do período de estudo.

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

Base de dados	Dados exportados	Formato
ESRI	Sistema de coordenadas	<i>Shapefile</i>
IBGE	Feições de divisas	<i>Shapefile</i>
MapBiomas	Uso e ocupação do solo	TIF
MapBiomas	Área ocupada pelos usos do solo	XLSX
INPE	Focos de queimadas	<i>Shapefile</i>

**Fonte:** A autora (2021).

## 5.3. Processamento de dados

Utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS Pro para execução de todas as etapas de geoprocessamento de dados e o *software Microsoft Excel* para realização das análises estatísticas. Os procedimentos metodológicos basearam-se na aplicação de etapas complementares (Figura 6) para cada ano da série temporal de estudo.

Inicialmente, realizou-se a reprojeção do mapa base e de todas as camadas utilizadas para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 22 S, visto que a maior parte da área de estudo encontra-se no fuso 22 do hemisfério sul. Considerando que os dados dos FQ correspondem a todo o estado de Minas Gerais, recortou-se essas feições para os limites do Triângulo Mineiro.

Posteriormente, utilizou-se o algoritmo da ferramenta densidade de Kernel como método estatístico de estimativa de densidades, a fim de analisar a distribuição espacial dos FQ na região. A ferramenta calcula a densidade das feições, ou seja, os focos de queimadas, dentro de uma vizinhança circular ao entorno de cada célula de saída usando uma função gaussiana (SILVERMAN, 1986). Nesse ponto, geraram-se mapas anuais com a aplicação desse modelo, possibilitando o estudo geral da dinâmica de incêndios durante os anos analisados.

Em seguida, realizou-se o recorte das imagens anuais de uso e ocupação do solo considerando a feição do Triângulo Mineiro, visto que os arquivos abrangem a totalidade dos biomas Cerrado e Mata Atlântica. Então, organizou-se a simbologia de cada identidade de classe de uso e ocupação do solo de acordo com o código hexadecimal de cores e a classificação estabelecida pelo MapBiomas.

Após esses passos, executou-se a intersecção anual entre os focos de queimadas e as camadas de uso e ocupação do solo de cada bioma, a fim de determinar o tipo de cobertura de cada ocorrência de incêndio. Portanto, nessa etapa necessitou-se realizar dois procedimentos de junção para cada ano: entre FQ e usos do Cerrado e FQ e usos da Mata Atlântica. Então, exportou-se as tabelas de atributos geradas para o *Excel*.

Além disso, para identificar as áreas de mudanças no uso do solo ao longo dos anos, realizou-se a diferença entre as camadas de um ano e o seguinte a este para os dois biomas. Desse modo, utilizou-se o resultado para repetir o processo de intersecção com os focos de queimadas do ano posterior em questão. Assim, verificou-se a ocorrência de FQ nas áreas de conversão em usos alternativos e exportou-se os resultados para o *Excel*.

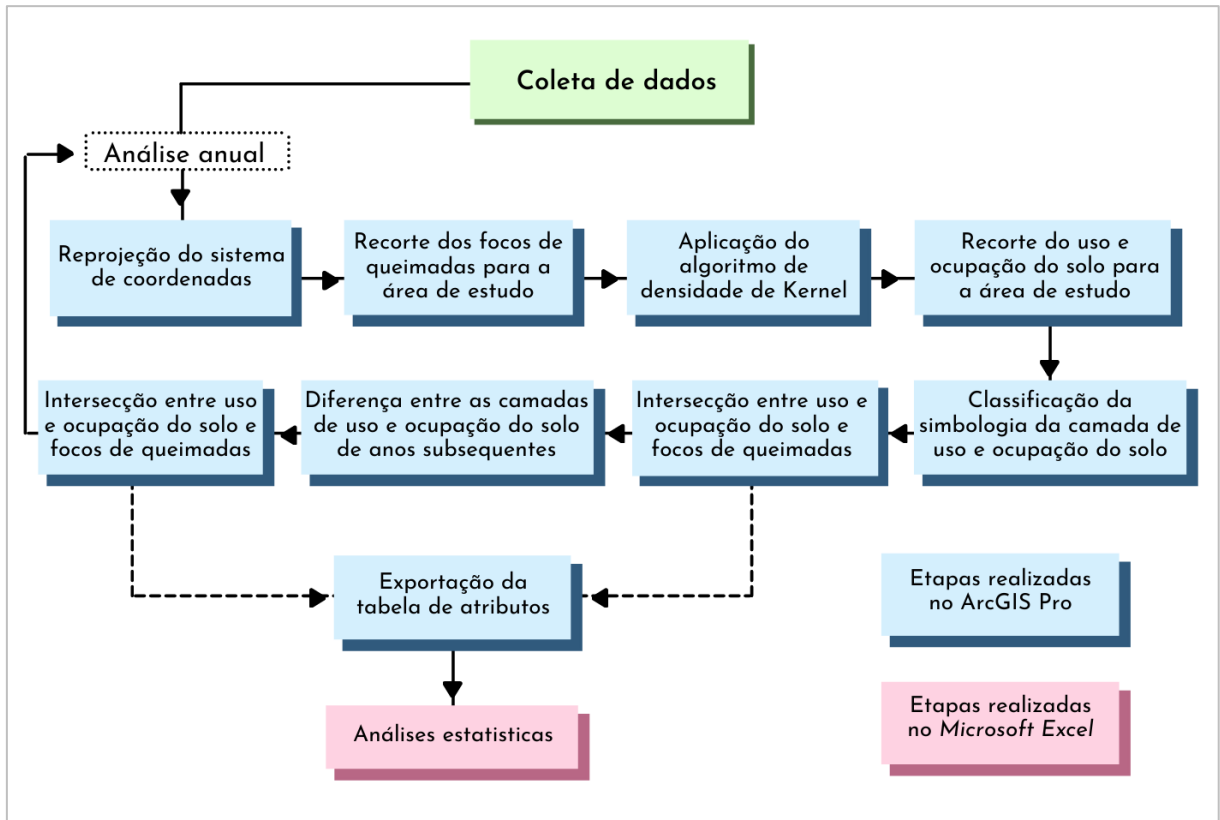
As tabelas de atributos geradas pela intersecção de dados apresentaram a correspondência dos focos com a identidade de classe de cada uso do solo. Então, utilizou-se a legenda do MapBiomas para interpretação dos códigos, sendo que valores nulos no bioma Cerrado indicaram a ocorrência do FQ na Mata Atlântica e vice-versa. Essas tabelas também relataram o município em que cada foco ocorreu. Assim, considerando ainda as informações do MapBiomas acerca da área ocupada por cada tipo de uso do solo nas cidades, realizou-se o agrupamento sistemático dos dados, possibilitando a geração de uma série de tabelas dinâmicas com todas essas informações.

No *software Microsoft Excel* calculou-se os valores normalizados dos FQ pelas respectivas áreas em que foram detectados. Além disso, verificou-se a relação estatística entre os focos de queimadas e as áreas dos usos e ocupações do solo em agrupamentos distintos a partir do complemento *Real Statistics*, utilizando cálculo do coeficiente de correlação de



Pearson ( $r$ ) e o valor  $p$  a 95% de significância. Essa metodologia foi aplicada a fim de verificar a hipótese de que os FQ são utilizados para mudanças no uso do solo.

**Figura 6.** Esquema das etapas aplicadas no procedimento metodológico de processamento dos dados.



Fonte: A autora (2021).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Evolução dos usos e ocupação do solo

Dentre os usos do solo discriminados pelo MapBiomias considerou-se apenas aqueles em que foram detectados focos de queimadas. É importante ressaltar que se tem ainda FQ ocorrentes exclusivamente em determinados usos de apenas um dos biomas (Tabela 2). Por exemplo, o mosaico de agricultura e pastagem apresentou focos apenas na região compreendida pelo bioma Mata Atlântica.

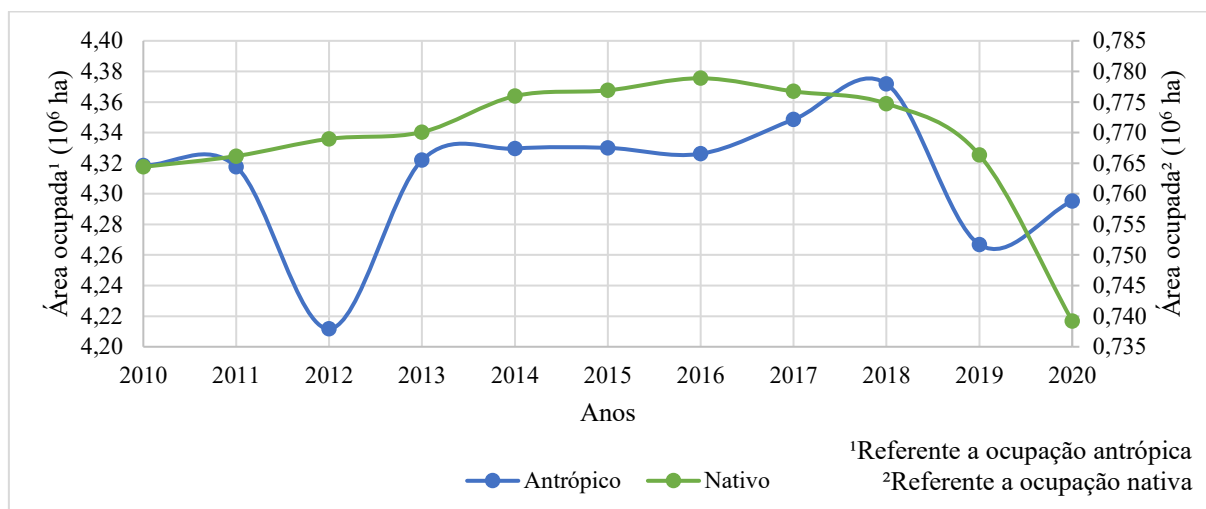
**Tabela 2.** Relação dos usos do solo em que foram identificados focos de queimadas para os biomas de Cerrado e Mata Atlântica no período de 2010 a 2020.

<b>Tipo de uso e ocupação do solo</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Mata Atlântica</b>
Cana-de-açúcar	X	X
Floresta plantada	X	X
Formação campestre	X	
Formação florestal	X	X
Formação savânica	X	
Infraestrutura urbana	X	X
Lavoura perene	X	
Mosaico de agricultura e pastagem		X
Outras áreas não vegetadas	X	
Outras lavouras temporárias	X	X
Pastagem	X	X
Soja	X	X

**Fonte:** A autora (2022).

Esses usos foram agrupados em ocupação nativa, que compreende formação florestal, formação campestre e formação savânica, e ocupação antrópica, que inclui floresta plantada, pastagem, soja, cana-de-açúcar, outras lavouras temporárias, lavoura perene, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas, a fim de analisar o panorama ao longo do período de estudo (Figura 7).

**Figura 7.** Gráfico da evolução do uso e ocupação do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Em primeiro plano, é importante enfatizar que a área antrópica é quase 6 vezes maior que a área nativa, sendo 86% contra 14%, respectivamente. A ocupação por usos nativos apresentou estabilidade entre 2010 e 2018, com posterior redução de aproximadamente 5% até 2020. Percebe-se, então, a aceleração da taxa de conversão de ocupação nativa por antrópica ao fim do período de estudo. Este resultado indica a necessidade de acompanhamento dos anos subsequentes, a fim de observar se esta tendência se verifica ou compreender se este é apenas um cenário específico e atípico destes anos.

Após o ano de 2018 nota-se a relação direta entre redução de área nativa e aumento de área antrópica, visto que as curvas evoluem em sentidos opostos. Nesse sentido, analisando as diferenças dos espaços cobertos por vegetação nativa entre os anos de estudo, o saldo final ao longo de todo o período corresponde à redução de 25 mil hectares, ou seja, cerca de 3% do total em 2010, em quase uma década. Este valor foi convertido em usos antrópicos, com a intensificação já mencionada a partir de 2018.

Então, considerando os 35 municípios do Triângulo Mineiro, 18 deles apresentaram crescimento do total ocupado por uso nativo, enquanto 17 revelaram redução dessas áreas. Nesse sentido, Cascalho Rico e Campina Verde tiveram os maiores percentuais de redução, 24% e 22%, respectivamente, sendo que nessas áreas houve expansão, sobretudo, agropecuária. Já Planura e Pirajuba corresponderam aos maiores crescimentos, 19% e 14%, nesta ordem. Estes aumentos foram, em maior parte, de formação campestre. Esse tipo de vegetação é mais esparsa e de menor porte, apresentando elevada capacidade de regeneração natural na borda de fragmentos de outros usos do solo (TRINDADE, 2003).

Já a ocupação por usos antrópicos apresenta maiores variações em seu desenvolvimento. Entre 2010 e 2012 houve redução da área ocupada de 4,32 para 4,21 milhões de hectares, recuperando o total inicial em 2013 e seguindo por um período de relativa estabilidade até 2016. Posteriormente, percebe-se o aumento dessa ocupação até 2018, com 4,37 milhões de hectares, com consecutiva queda para 4,27 milhões de hectares em 2019 e crescimento até 4,34 milhões de hectares no ano de 2020.

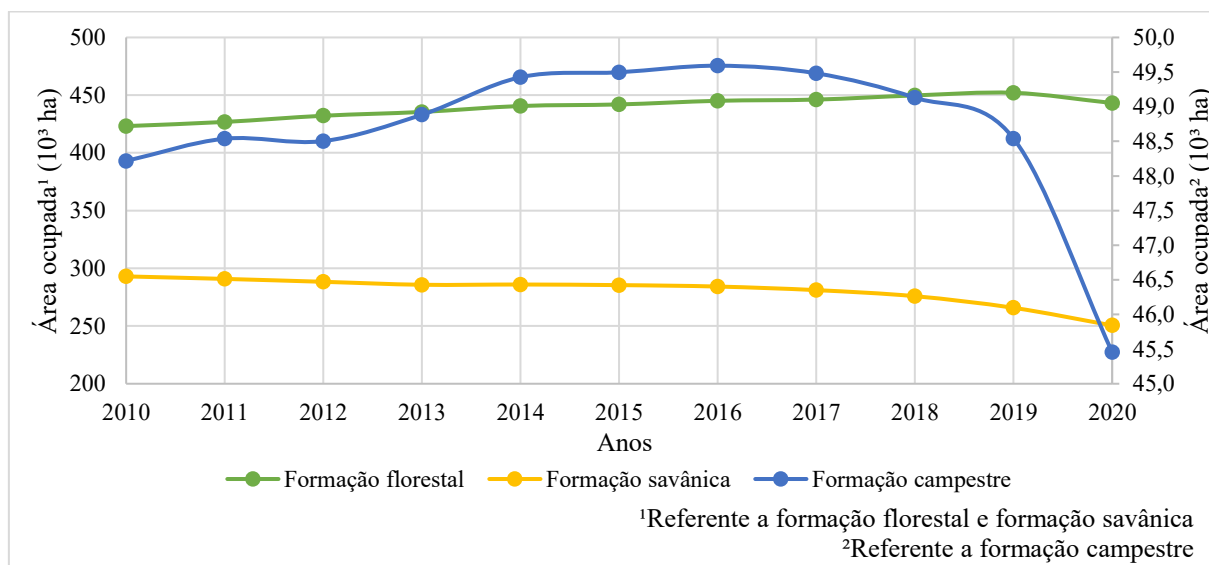
Logo, tendo em vista a totalidade dos municípios no Triângulo Mineiro, 26 tiveram as variações do total ocupado por usos antrópicos, tanto positivas como negativas, inferiores a 3%. Nesse sentido, dos 35 municípios, 19 apresentaram crescimento, enquanto 16 evidenciaram redução dessas áreas. Os destaques são em Conceição das Alagoas e Cascalho Rico, que tiveram os maiores percentuais de aumento, 16% e 12%, respectivamente. Conceição das Alagoas apresentou aumento de mais de 100% nas áreas de cana-de-açúcar, soja e floresta plantada, enquanto Cascalho Rico teve crescimento em cana-de-açúcar, soja, além de mosaico de agricultura e pastagem.

Todavia, como os usos agrupados são bastante distintos, é possível discriminar ainda as duas categorias a fim de explorar com maior detalhamento a evolução dos usos do solo. Tendo em vista o comportamento dos diferentes tipos de vegetação nativa que ocupam o Triângulo Mineiro (Figura 8), nota-se que a maior parte é abrangida por formação florestal, que compreende as fitofisionomias de mata ciliar, mata de galeria, cerradão, mata seca (RIBEIRO; WALTER, 2008), formação pioneira arbórea, floresta ombrófila, floresta estacional decidual e semidecidual (MAPBIOMAS, 2019).

A área coberta pelas formações florestais apresentou crescimento de 7% de 2010 a 2019, com redução posterior de 2% em 2020. Esse padrão de aumento provavelmente engloba diversos estágios de regeneração natural dessas vegetações, podendo ainda estar associado à regularização de propriedades rurais em relação à Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), prevista pela Lei nº 12651/2012 (MUNHOZ, 2020).

Os municípios que abrigam maior parte dessas formações florestais são Prata, Uberaba e Uberlândia, que apresentaram crescimento de 7%, 18% e 6%, respectivamente, entre 2010 e 2020. Além disso, Araguari também possui elevada quantidade dessa vegetação, apesar da redução de 5% entre os mesmos anos. De fato, considerando que as fitofisionomias de mata ciliar e mata de galeria ocorrem associadas a cursos d'água, a proeminência dos municípios citados possivelmente deve-se à maior presença de recursos hídricos em seus territórios, por exemplo.

**Figura 8.** Gráfico da evolução das ocupações nativas do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Em relação à formação savânica, que abrange as fitofisionomias de cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda (RIBEIRO; WALTER, 2008), percebe-se o decréscimo de 14% da área ocupada ao longo de todo período. Esse comportamento provavelmente possui relação com o fato de que essas vegetações apresentam estratos menores, além de distribuição não contínua, o que pode facilitar sua remoção e conversão em usos alternativos (BOND; KEELEY, 2005).

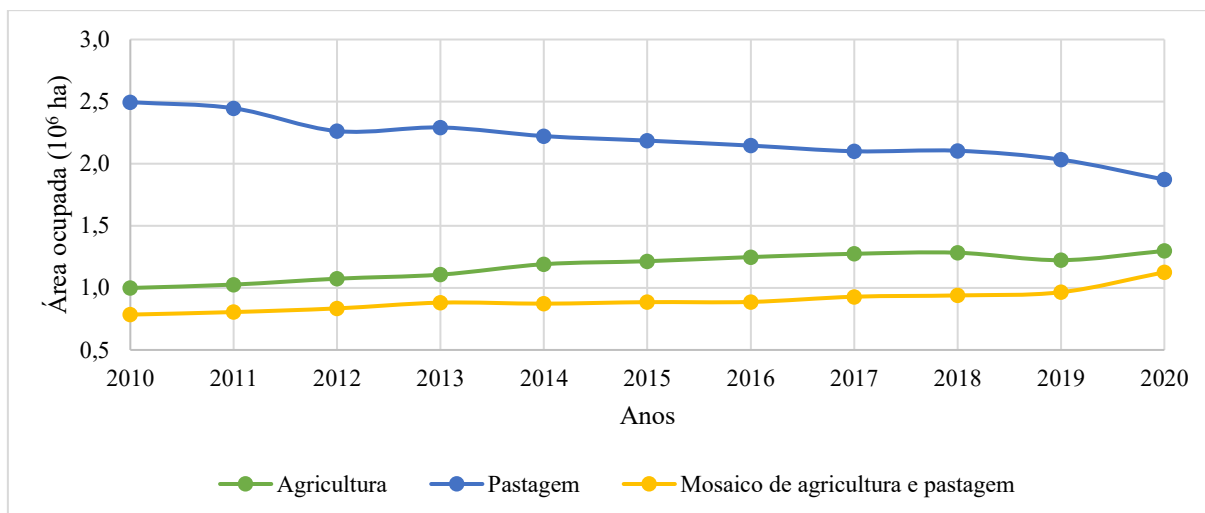
Os municípios que abrigam maior quantidade dessa formação são Campina Verde, Uberlândia, Ituiutaba e Gurinhatã. Para estes casos, observou-se redução, entre 2010 e 2020, de 26%, 8%, 8% e 10%, respectivamente.

O último uso nativo, formação campestre, que enquadra as fitofisionomias campo sujo, campo limpo e campo rupestre (RIBEIRO; WALTER, 2008), apresentou pouca variação até 2018. Posteriormente a este ano, percebe-se a redução de 7% da área, sendo esta variação a maior taxa entre as ocupações nativas consideradas. O decréscimo dessas vegetações provavelmente relaciona-se também a sua distribuição esparsa e menor porte, o que facilita sua remoção e degradação (TRINDADE, 2003; BOND; KEELEY, 2005).

Discriminando agora o comportamento dos usos antrópicos relacionados ao agronegócio (Figura 9), que representam quase 99% do total das ocupações antrópicas, percebe-se que a maior parte do Triângulo Mineiro é coberta por áreas exclusivamente de pastagem. Essa ocupação representava cerca de 46% da região no primeiro ano e 34% no último. O ajuste deste

comportamento é bastante linear, com coeficiente  $R^2=0,93$ , e indica uma redução de 2,3% da área coberta por pastagem ao ano.

**Figura 9.** Gráfico da evolução dos usos agropecuários do solo no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Em 2010, 10 municípios possuíam mais de 50% do total do território ocupado por áreas pastejadas, com ênfase para Campina Verde, com 77%, e Carneirinho, com 74%. Em 2020, 7 municípios ainda se encontravam nessa situação, sendo que essas cidades citadas reduziram a porcentagem para 57% da área total de cada município.

De acordo com o censo agropecuário mais recente publicado pelo IBGE (2019), entre os anos de 1996 e 2017 houve redução média das pastagens brasileiras em 16%, sendo que no Sudeste, região na qual o Triângulo Mineiro está inserido, a redução foi de 32%. Esse decréscimo, todavia, não afetou o crescimento dos rebanhos e pode estar associado a tendência de adensamento da produção pecuária, além da integração lavoura-pecuária (EMBRAPA, 2014). De fato, a área ocupada por pastagens reduziu anualmente (2,2%) aproximadamente a mesma taxa de crescimento dos espaços de agricultura e mosaicos (2,8%).

As áreas ocupadas por agricultura apresentaram crescimento de cerca de 1,00 milhão de hectares em 2010 para 1,30 milhões de hectares em 2020, um aumento de 30%. Entre os tipos de culturas incluídas, tem-se destaque para a cana-de-açúcar, que representa a maior parcela e, de fato, tem apresentado aumento na produção ao longo dos anos. Além disso, o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é a mesorregião mineira com maior ocupação de área plantada de cana-de-açúcar (DIAS; ROSENDO, 2020).

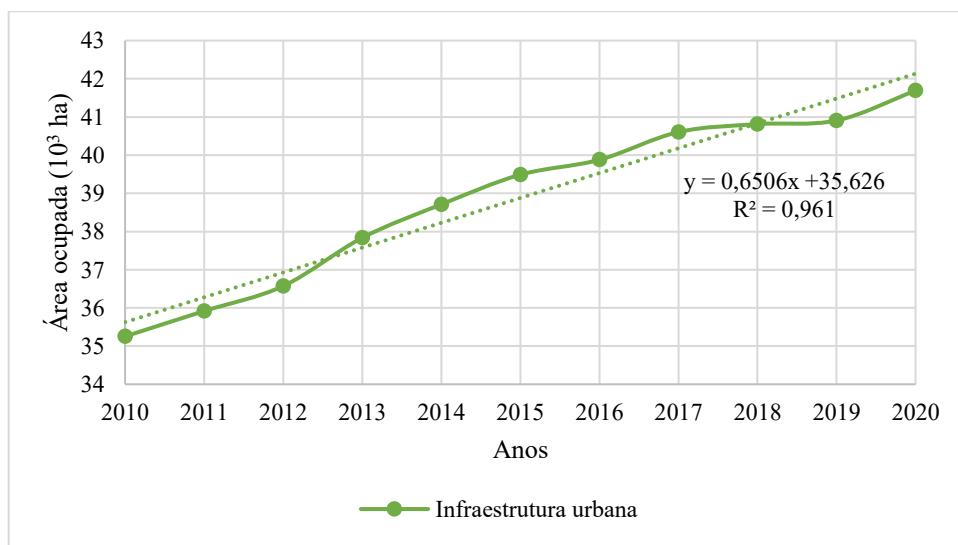
Os municípios Delta e Pirajuba, por exemplo, apresentaram 45% de seus respectivos territórios ocupados por cana-de-açúcar. Em relação ao outro tipo de cultura também em evidência, a soja, com exceção de Araporã, Carneirinho, União de Minas e Veríssimo, os demais 31 municípios do Triângulo Mineiro apresentaram crescimento durante o período de estudo.

A evolução do terceiro tipo de uso agropecuário considerado, mosaico de agricultura e pastagem, ou seja, áreas em que não é possível fazer a distinção entre os dois usos, evidencia a realidade já mencionada de integração entre lavoura-pastagem. Entretanto, sendo essa ocupação identificada apenas no bioma Mata Atlântica, percebe-se que as áreas reduzidas em pastagem no Cerrado são convertidas em agricultura. A Figura 9 também mostra isto, já que o aumento das áreas de agricultura e mosaicos ocorre ao mesmo passo que a redução da área de pastagem.

Ao longo do período considerado, o crescimento mais expressivo das áreas de mosaico de agricultura e pastagens se deu em Araguari e Campina Verde, com aumento de mais de 500% em cada município. De fato, esses valores corroboram com outros resultados apresentados, ressaltando o destaque dessas cidades no setor agropecuário.

Tendo em vista a evolução das áreas de infraestrutura urbana (Figura 10), percebe-se o aumento contínuo de forma linear desse tipo de ocupação. Em 2010 a ocupação era de 35,3 mil hectares, crescendo para 41,7 mil hectares em 2020, um aumento médio no Triângulo Mineiro de 18%. O crescimento das áreas de infraestrutura urbana segue um aumento de 0,65 mil hectares por ano. Observando os municípios, os maiores percentuais são notados em Campo Florido (182%), Campina Verde (125%) e Cachoeira Dourada (104%).

**Figura 10.** Evolução da ocupação de infraestrutura urbana no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Além disso, Uberlândia é o município com maior total absoluto de infraestrutura urbana, sendo, de fato, o mais populoso da região (IBGE, 2020). Já o menor total absoluto é encontrado em Água Comprida, assim como a menor população (IBGE, 2020).

A evolução da infraestrutura urbana é bastante linear, constatada pelo elevado valor do coeficiente  $R^2$  (0,96). Esses resultados, então, podem ser úteis para estimar o crescimento futuro. A partir desses dados, espera-se, por exemplo, que no ano de 2030 a infraestrutura urbana ocupe cerca de 48,6 mil hectares na região, um aumento de 27% em relação ao ano de 2010.

Em resumo, 8 tipos de uso e ocupação do solo apresentaram incremento entre 2010 e 2020, enquanto 4 revelaram redução (Tabela 3). Nos usos nativos, o maior crescimento foi em formações florestais, enquanto o maior decréscimo foi em formações campestres. Já nos usos antrópicos o maior acréscimo deu-se em áreas de mosaico de agricultura e pastagem, e a maior redução em espaços de pastagens.

**Tabela 3.** Proporção dos usos e ocupação do solo no Triângulo Mineiro em 2010 e 2020.

Usos e ocupação do solo	2010 (%)	2020 (%)	Variação do percentual (%)
Mosaico de agricultura e pastagem	15.44	22.15	+6.71
Cana-de-açúcar	8.38	12.77	+4.39
Soja	4.95	8.71	+3.76
Formação florestal	8.33	8.72	+0.39
Floresta plantada	1.33	1.68	+0.35
Lavoura perene	0.07	0.28	+0.22
Infraestrutura urbana	0.69	0.82	+0.13
Outras áreas não vegetadas	0.08	0.12	+0.04
Formação campestre	0.95	0.89	-0.05
Formação savânica	5.76	4.93	-0.83
Outras lavouras temporárias	4.93	2.09	-2.84
Pastagem	49.09	36.84	-12.25

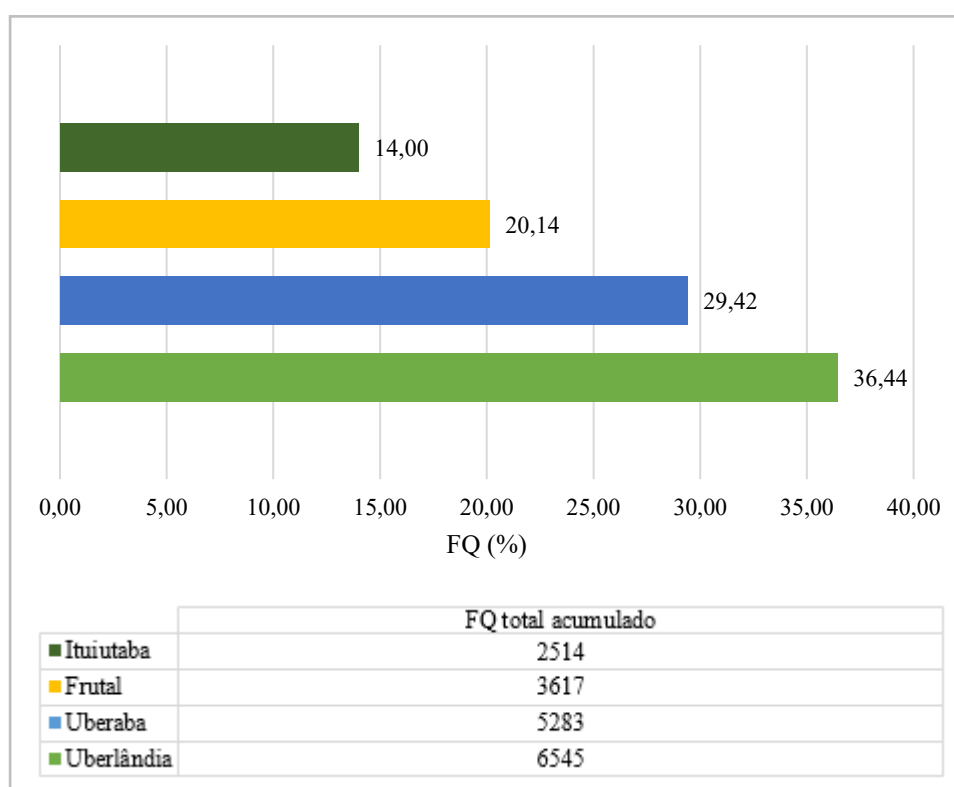
**Fonte:** A autora (2022).



## 6.2 Distribuição da densidade espacial de focos de queimadas

O total acumulado de FQ durante a série temporal de 2010 a 2020 foi maior na microrregião de Uberlândia, seguido por Uberaba, Frutal e Ituiutaba (Figura 11). Todavia, nota-se que essa distribuição não se relaciona diretamente com a área compreendida por cada microrregião. A maior concentração normalizada por área ocorreu em Uberaba, depois em Uberlândia, Ituiutaba e Frutal.

**Figura 11.** Frequência de ocorrência (%) e valores acumulados dos focos de queimadas nas microrregiões do Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.

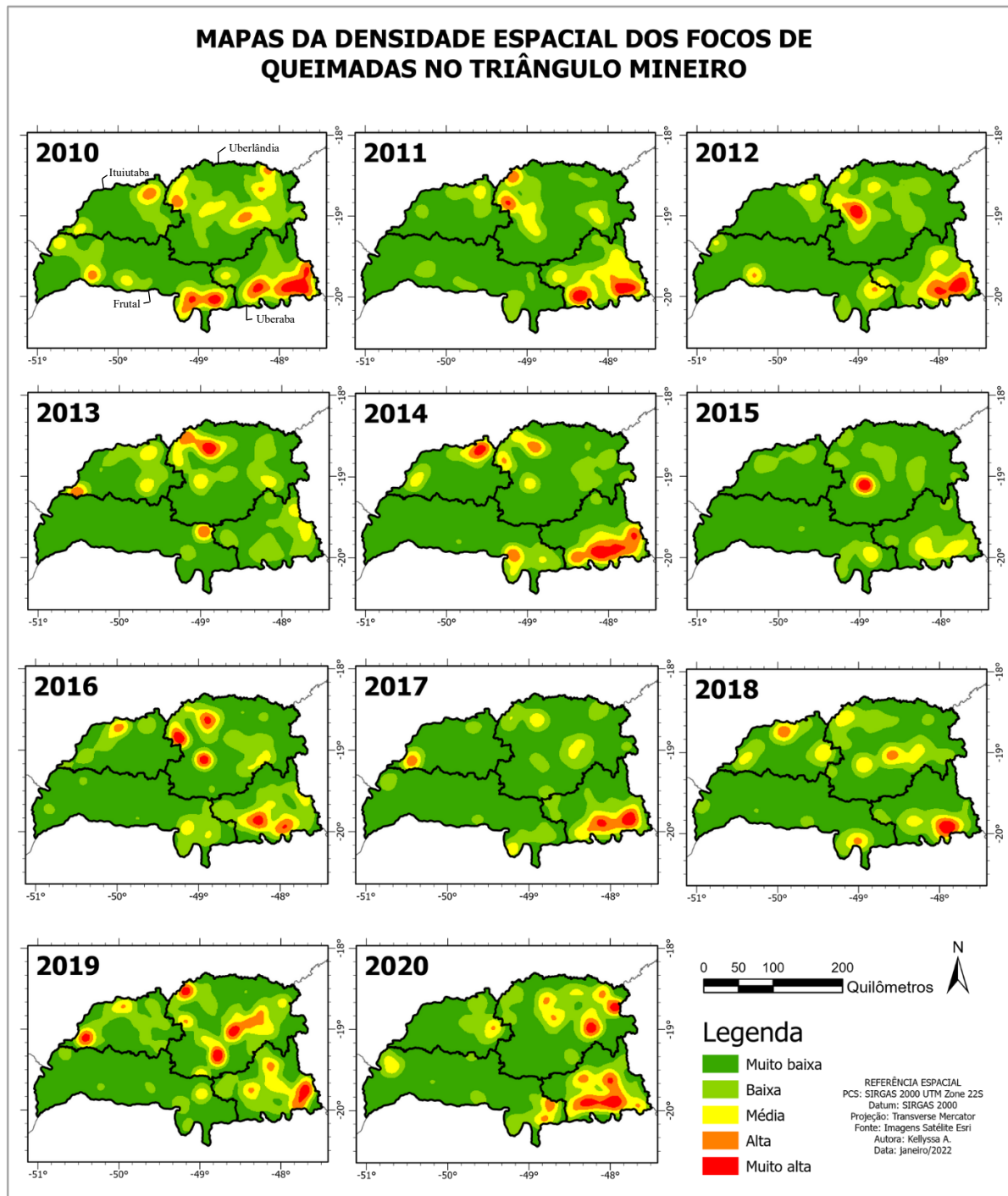


**Fonte:** A autora (2022).

A distribuição espacial dos FQ ao longo dos anos de estudo (Figura 12) de fato evidencia a persistência da concentração de focos, sobretudo, ao sul na microrregião de Uberaba e de forma distribuída na microrregião de Uberlândia.

Os próprios municípios de Uberaba e Uberlândia ocupam a primeira e segunda posição, respectivamente, no ranqueamento de FQ acumulados. Uberaba concentrou 14% do total de focos (2500), sendo este valor muito próximo às ocorrências registradas em toda a microrregião de Ituiutaba. Já Uberlândia concentrou 9% do total de focos (1603).

**Figura 12.** Distribuição espacial da estimativa de densidade de Kernel dos focos de queimadas no Triângulo Mineiro com divisão das microrregiões de 2010 a 2020.



Fonte: A autora (2022).

Tendo em vista os 10 municípios com maior quantidade de FQ acumulados ao longo da série temporal, tem-se a concentração de 65% de todos os focos do período. Destas cidades, 5 pertencem à microrregião de Uberlândia (Uberlândia, Monte Alegre de Minas, Prata, Araguari

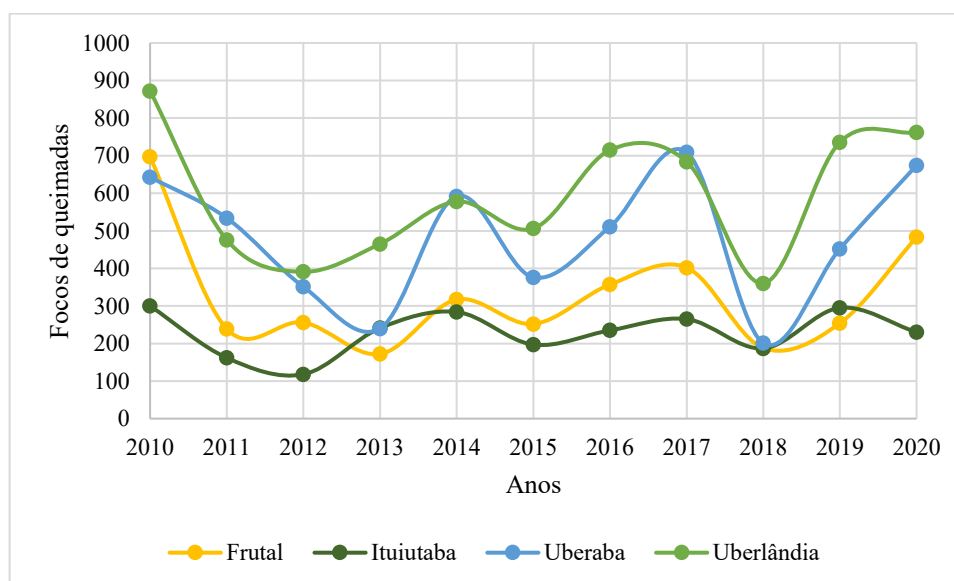
e Canápolis), 2 à microrregião de Uberaba (Uberaba e Conceição das Alagoas), 2 à microrregião de Ituiutaba (Ituiutaba e Santa Vitória) e 1 à microrregião de Frutal (Frutal).

Aproximadamente 14% dos municípios registraram mais de 1000 FQ acumulados, 26% entre 400 e 1000 FQ, 51% entre 100 e 400 FQ e 9% menos que 100 FQ. As médias de ocorrências para estas faixas foram 1527, 650, 241 e 59, nesta ordem. Os municípios com menor número de focos identificados são Planura, Cachoeira Doura e Cascalho Rico, com apenas 79, 51 e 46 focos respectivamente.

É possível que a distribuição espacial dos focos de incêndios esteja acompanhando a expansão agropecuária dos municípios, visto que o fogo é comumente empregado como ferramenta para conversão da vegetação em usos antrópicos e manejo agropecuário. Além disso, estes episódios podem ainda se relacionar, por exemplo, ao movimento de expansão da própria malha urbana, devido à utilização do fogo para limpeza de áreas e posteriormente desenvolvimento de construções civis.

O ano com maior ocorrência de FQ nas microrregiões foi em 2010, com exceção da microrregião de Uberaba, em que o ápice ocorreu em 2020. Já o ano com menor número de registros foi em 2018, excluindo a microrregião de Frutal, que teve essa observação em 2013. De modo geral, entretanto, o comportamento dos focos de calor é semelhante ao longo dos anos (Figura 13).

**Figura 13.** Número de FQ identificados nas microrregiões do Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

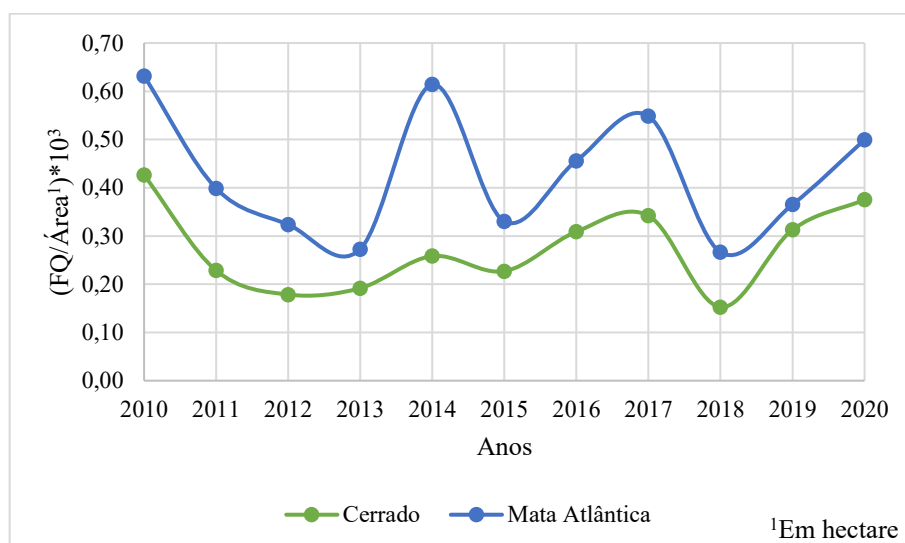
### 6.3 Distribuição dos focos de queimadas nos biomas

Os focos de queimadas identificados nos biomas do Cerrado e Mata Atlântica (Figura 14) apresentaram a mesma tendência de comportamento ao longo dos anos. No Cerrado detectou-se 70% dos FQ acumulados ao longo dos anos de 2010 a 2020, enquanto na Mata Atlântica registrou-se os outros 30%. Entretanto, a distribuição é distinta no que concerne à área ocupada por cada bioma. O Cerrado abrange 85% do território do Triângulo Mineiro, sendo o restante coberto pela Mata Atlântica. Apesar dessa grande diferença de áreas, a Mata Atlântica concentrou, em todos os anos, maior número de FQ quando normalizados.

É possível que a predominância de focos em áreas inseridas no bioma Mata Atlântica esteja relacionada à caracterização dessa região como um ecótono, ou seja, uma zona de transição entre biomas distintos, facilitando a degradação dos ecossistemas. Além disso, as áreas de Mata Atlântica estão ainda localizadas nas divisas de Minas Gerais com outros estados onde também se observa expansão da fronteira agrícola, como Goiás e Mato Grosso do Sul.

Com exceção dos municípios de Campina Verde, Cascalho Rico, Comendador Gomes, Indianópolis, Prata e União de Minas, os demais 29 municípios do Triângulo Mineiro abrigam alguma parcela de fragmento da Mata Atlântica em seus territórios. Nestes, identificou-se aproximadamente 50% dos FQ em espaços ocupados por cana-de-açúcar, além de 22% em áreas de mosaicos de agricultura e pastagem. No bioma Cerrado, registrou-se 42% dos focos em pastagens e 22% em zonas destinadas ao plantio da cana-de-açúcar.

**Figura 14.** Número de FQ identificados nos biomas do Cerrado e Mata Atlântica do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020.



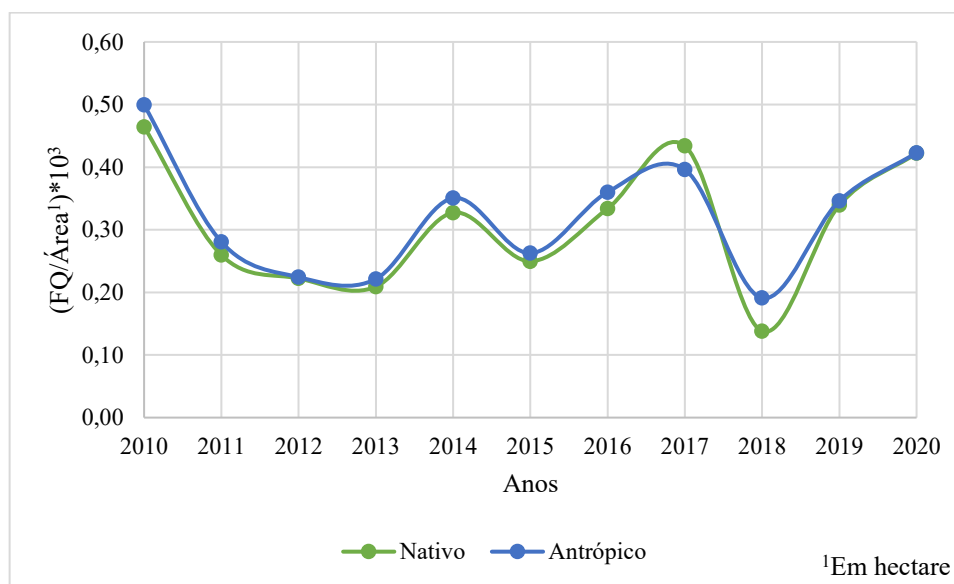
Fonte: A autora (2022).

Considerando os focos de incêndio ocorridos em áreas de vegetação nativa, na Mata Atlântica todos atingiram formações florestais. Já no Cerrado, 45% das ocorrências foram em formações florestais, 41% em formações savânicas e 14% em formações campestres. A forma de uso do solo com menor número de FQ foi floresta plantada na Mata Atlântica e lavoura perene no Cerrado.

#### 6.4 Relação entre focos de queimadas e usos e ocupação do solo

Os focos de queimadas identificados em áreas destinadas a usos nativos e antrópicos (Figura 15) apresentaram a mesma tendência ao longo dos anos, indicando dinâmicas de ocorrência homogêneas. Esse resultado foi obtido apesar da predominância de ocupações antrópicas, 86% do Triângulo Mineiro, em relação às áreas nativas, 14%. Além disso, os FQ constatados em cada uma dessas áreas apresentou percentuais semelhantes aos anteriores: 84% em usos antrópicos e 16% em nativos. Isto é, a frequência relativa de focos de calor por área independe do uso do solo.

**Figura 15.** Número de FQ identificados nos usos e ocupações do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Os maiores números de FQ observados foram em 2010, 2017 e 2020 para ambos os agrupamentos. Já os menores apontamentos são notados em 2012, 2013 e 2018. Esses episódios de pico e queda também foram registrados em estudos referentes aos biomas brasileiros.

(ROCHA; NASCIMENTO, 2021; JESUS, 2020), indicando dinâmica de fogo com tendência nacional semelhante, possivelmente devido a componentes macrorregionais, como variáveis meteorológicas, por exemplo.

É importante atentar-se para a elevada concentração de focos de calor na pequena parcela remanescente de vegetação nativa do Triângulo Mineiro. Esse cenário pode estar associado à utilização de fogo para conversão dessas áreas em usos distintos, visto que ao longo do tempo observou-se a redução da área ocupada por vegetação nativa e o crescimento destinado a usos antrópicos.

Já o grande número absoluto de FQ em ocupações antrópicas provavelmente relaciona-se ao emprego do fogo em atividades agropecuárias. Essas práticas são utilizadas para expansão de áreas destinadas à agropecuária, rotação de culturas agrícolas, controle de pragas, remoção de vegetação seca, dentre outros fatores relativos a esse tipo de atividade econômica (MATAVELI; CHAVES, 2014).

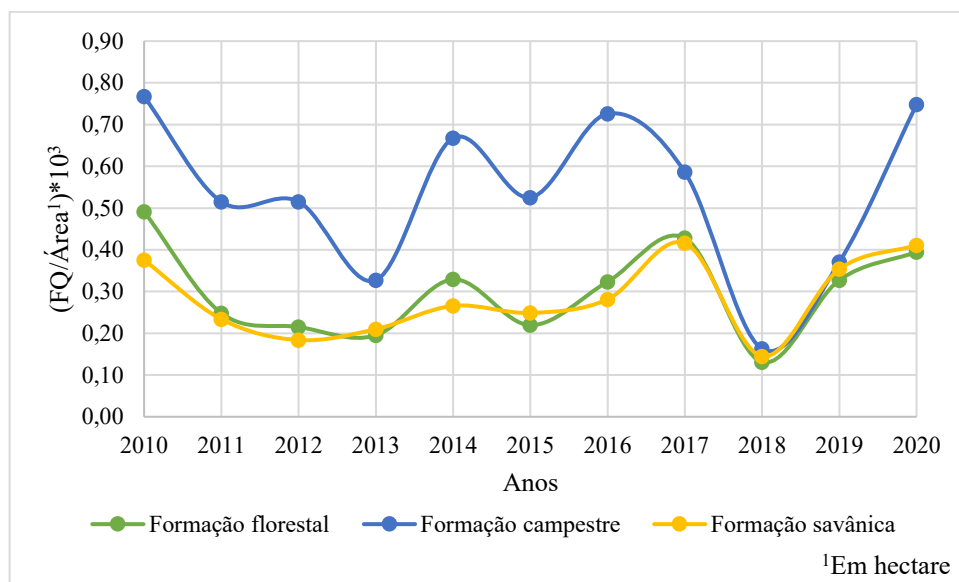
A análise de correlação entre a área ocupada por usos antrópicos e nativos e os FQ correspondentes não apresentou resultados estatisticamente significativos para nenhum dos casos (Tabela 4). Contudo, estes resultados não indicam ausência de relação indireta entre as variáveis. Por exemplo, uma região de vegetação nativa com ocorrência de queimada pode não ser convertida em uso antrópico no ano imediatamente seguinte. A ocupação por novas formas de cobertura possivelmente demanda mais tempo. Isso pode ser observado também em áreas na borda urbana, nas quais se usa o fogo para limpeza do terreno. A expansão imobiliária nesses locais tende a ocorrer anos após os FQ.

Discriminando o agrupamento de ocupações nativas (Figura 16) percebe-se também um comportamento homogêneo de FQ ao longo da série temporal de estudo. A formação campestre é o tipo de vegetação que mais queima, apesar de ocupar a menor área dentre as demais. Essa realidade possivelmente está ligada a maior susceptibilidade ao fogo nas espécies que compõem essa fitofisionomia e ao seu desenvolvimento sobre solos rasos e menos úmidos, condicionando um microclima mais seco e uma secagem mais rápida da vegetação herbácea de ciclo anual. Assim, também há maior facilidade à propagação das queimadas e incêndios (BOND; KEELEY, 2005). A redução acentuada da área ocupada por essa vegetação após 2018 (Figura 8) foi seguida pelo aumento de FQ nessas regiões.

Os municípios com maiores concentrações acumuladas de FQ em formações campestres foram Uberaba e Uberlândia, sendo estas as cidades com maior quantidade de cobertura deste tipo. Contudo, não se observa correlação com significância estatística entre o número de focos

e a área ocupada (Tabela 4). De fato, tendo em vista Uberaba e Uberlândia, percebe-se o aumento de áreas de formação campestre ao longo dos anos de estudo.

**Figura 16.** Número de FQ identificados nos usos nativos do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

Considerando os 35 municípios do Triângulo Mineiro, 3 deles não possuem formação campestre em seus territórios: Cachoeira Dourada, Delta e Ipiacu. Dos demais, 7 não registraram FQ nesse tipo de vegetação, enquanto daqueles que apresentaram FQ, 72% atingiram até 10 FQ acumulados.

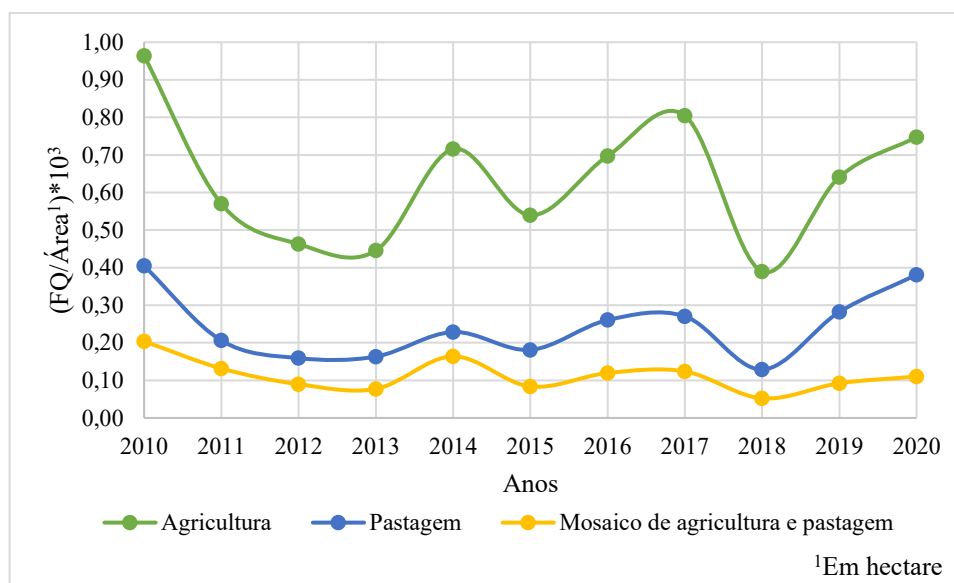
A segunda ocupação com maior ocorrência de FQ na maioria dos anos foi formação florestal, com maior área no Triângulo Mineiro entre os usos nativos. Também não se obteve correlação estatisticamente significativa na análise entre FQ e área (Tabela 4). Os maiores valores acumulados são percebidos em Uberaba e Araguari, sendo que nestes municípios houve acréscimo de área ocupada por formação florestal. Todas as cidades registram focos nesse tipo de uso.

Em terceiro lugar na maior parte dos anos tem-se as formações savânicas, que também não apresentaram correlação com significância estatística considerando focos e área ocupada (Tabela 4). Os municípios com maiores registros foram Uberlândia e Prata, que, neste caso, reduziram a área ocupada por formações savânicas entre 2010 e 2020.

Cachoeira Dourada, Delta e Ipiacu não possuem esse tipo de vegetação em seus territórios. Além disso, 5 dos demais municípios não registraram FQ nessa forma de ocupação do solo e apenas outros 5 apresentaram valor acumulado superior a 50 focos.

Considerando os usos antrópicos, discriminou-se apenas os usos agropecuários, isto é, agricultura, que abrange floresta plantada, soja, cana-de-açúcar, outras lavouras temporárias e lavouras perenes; pastagem e mosaico de agricultura e pastagem (Figura 17). Os demais usos (infraestrutura e outras áreas não vegetadas) não foram discernidos, visto que registraram poucos focos (menos de 1,5% do total). Provavelmente esse fato deve-se a ausência de material combustível nestes locais e também a ocorrência de focos pequenos não detectáveis pelos satélites, como para limpeza de terrenos, por exemplo (G1 MINAS, 2020; ASCOM, 2021).

**Figura 17.** Número de FQ identificados nos usos agropecuários do Triângulo Mineiro normalizados pelas respectivas áreas de 2010 a 2020.



**Fonte:** A autora (2022).

O maior número de focos de calor foi identificado em áreas de agricultura, corroborando com o fato de que o fogo é utilizado como técnica de manejo para diversas finalidades nesse âmbito (MATAVELI; CHAVES, 2014). Todavia, também há ausência de correlação estatística significativa entre FQ e a área coberta por esses usos (Tabela 4).

Os maiores registros foram em culturas de cana-de-açúcar e soja. Na primeira destas a maior recorrência de FQ deu-se em Uberaba e Frutal. Estas cidades aumentaram os espaços destinados à cana-de-açúcar ao longo dos anos. Apenas Cascelho Rico não registrou nenhum



foco em áreas de cana-de-açúcar. Dos demais municípios, 47% tiveram acima de 100 focos acumulados.

Já nas áreas de soja, os municípios que se destacaram foram Uberlândia e Uberaba, que também expandiram as áreas dessa cultura entre 2010 e 2020. Apenas a cidade de Carneirinho não possui plantações de soja. Outros 5 municípios (Comendador Gomes, Gurinhatã, Iturama, Limeira do Oeste e União de Minas) não registraram nenhum FQ nesses espaços.

No ano de 2010 o Triângulo Mineiro foi responsável pela produção de 63% do total de cana-de-açúcar produzida pelo estado de Minas Gerais. Em 2020 esse valor cresceu para 67%. Considerando as culturas de soja, a região produziu 39% do total do estado em 2010 e 30% em 2020. Essa redução deve-se ao fato da produção de Minas ter dobrado neste período, sendo que o Triângulo Mineiro não aumentou sua produção segundo a mesma taxa, apesar da expansão dessa cultura (IBGE, 2022c).

Tendo em vista os focos ocorrentes em áreas de pastagens, os registros mais elevados ocorreram em Uberaba e Uberlândia, que se destacam na produção de bovinos. Estas cidades, seguindo o padrão regional e também nacional, reduziram as áreas exclusivas de pastagem ao passo que aumentaram os mosaicos de agricultura e pastagem. Todos os municípios do Triângulo Mineiro tiveram a ocorrência de FQ em pastagens, sendo que não foi observada correlação estatística significativa entre os focos e a área (Tabela 4).

No ano de 2010 a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foi responsável por 24% do rebanho bovino do estado de Minas Gerais, sendo este percentual mantido em 2020 (IBGE, 2022a). Os rebanhos mais expressivos são produzidos em Campina Verde, Prata, Santa Vitória, Uberaba e Uberlândia (IBGE, 2022b).

Nos espaços ocupados por mosaico de agricultura e pastagem também não se verificou correlação estatisticamente significativa entre FQ e a área ocupada por esse uso (Tabela 4). A maior quantidade de FQ acumulada deu-se em Uberaba e Conceição das Alagoas. Os municípios de Campina Verde, Cascalho Rico, Comendador Gomes, Fronteira, Indianópolis, Prata e União de Minas não apresentaram focos nesse tipo de uso do solo.

Apesar de não se observar nenhuma correlação estatística significativa (Tabela 4) entre FQ e a área ocupada pelos usos e ocupações do solo considerados, nota-se que, para todos os anos, mais de 90% dos focos atingiram áreas antropizadas. Como a região do Triângulo Mineiro dedica-se de forma expressiva ao desenvolvimento de atividades agropecuárias, esses resultados indicam a persistência de emprego do fogo em atividades de agricultura e pecuária.

A evolução dos FQ entre o período analisado não evidenciou tendência de crescimento ao longo dos anos, sendo necessários estudos acerca dos anos subsequentes a fim de avaliar o

comportamento desses fenômenos. Além disso, também são importantes pesquisas que considerem a evolução das áreas ocupadas pelos diferentes tipos de uso e ocupação do solo, para examinar a expansão da fronteira agrícola no Triângulo Mineiro, que, atualmente, deixou apenas 15% de vegetação nativa na região.

**Tabela 4.** Valores da correlação estatística de Pearson entre os FQ e as áreas ocupadas pelos usos e ocupações do solo em que foram detectados no Triângulo Mineiro de 2010 a 2020.

Tipos de uso e ocupação do solo	Área ocupada	
	R	p
Usos nativos	-0,3207	0,3363
Usos antrópicos	0,1827	0,5908
Formação campestre	0,2143	0,5269
Formação florestal	-0,0988	0,7726
Formação savânica	-0,2685	0,4247
Agricultura	0,2994	0,3710
Pastagem	0,1780	0,6005
Mosaico de agricultura e pastagem	-0,0953	0,7804

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

Fonte: A autora (2022).

### 6.5 Relação entre focos de queimadas e mudanças nos usos e ocupação do solo

Os focos de calor identificados em áreas de mudanças do uso e ocupação do solo ao longo dos anos (Tabela 5) representaram uma parcela pequena em relação aos totais anuais. Por exemplo, em 2010, do total de 1411 FQ detectados, 188 ocorreram de modo distribuído em áreas que, de 2009 para 2010, alteraram o tipo de uso e ocupação do solo.

Estes resultados revelam que a maior parte dos FQ ocorreram em áreas sem mudança de cobertura há pelo menos 1 ano, confirmando a ausência de correlação com significância estatística encontrada. As alterações no uso e ocupação do solo podem então, de fato, demorar mais tempo para ocorrerem. É possível ainda que áreas de conversão em coberturas alternativas não tenham sido identificadas e classificadas nos anos imediatamente seguintes.

Em todo caso, analisando a dinâmica anual dos focos de calor no Triângulo Mineiro para o período de 2010 a 2020, percebe-se que o fogo não foi aplicado como a principal ferramenta

de conversão em usos alternativos. Desse modo, é provável que a utilização de fogo seja aplicada, essencialmente, na manutenção dos usos e ocupações do solo já existentes.

**Tabela 5.** Número de FQ que ocorreram nas áreas em que houve mudança no uso e ocupação do solo.

	FQ										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Total</b>	188	101	122	104	168	92	147	131	52	88	107
<b>Percentual entre todos os FQ do ano (%)</b>	0,07	0,07	0,11	0,09	0,09	0,07	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05

**Fonte:** A autora (2022).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento das categorias de uso e ocupação do solo acompanha a dinâmica de expansão da fronteira agrícola no Triângulo Mineiro. A maior parte da região possui cobertura destinada a atividades agropecuárias, com predominância de pastagens. Apoiado nisso, observou-se a conversão de vegetação nativa em usos antrópicos ao longo dos anos, além do aumento das áreas de mosaico de agricultura e pastagem, cana-de-açúcar e soja.

A ocorrência de focos de queimadas no Triângulo Mineiro concentrou-se, em escala de microrregião, em Uberlândia e Uberaba; em escala de bioma, na Mata Atlântica; e a nível de uso e ocupação do solo, em áreas antrópicas. Dentre as vegetações nativas, as formações campestres apresentaram maior concentração dos focos de calor. Já em ocupações antrópicas o destaque ocorreu em áreas destinadas à agricultura, sobretudo, de soja e cana-de-açúcar, indicando que o fogo continua a ser amplamente empregado no desenvolvimento dessas atividades, apesar de seus impactos negativos e ilegalidade.

Não se observou correlação com significância estatística entre a área ocupada pelos diferentes tipos de uso e ocupação do solo e os focos de queimadas correspondentes. Além disso, a maioria dos focos ocorreram em áreas sem mudança de cobertura há pelo menos 1 ano, indicando que as conversões no uso do solo tendem a ocorrer em períodos mais longos de tempo.

Ademais, recomenda-se, em estudos futuros, o acompanhamento do comportamento da cobertura do solo ao longo dos próximos anos, a fim de observar se a tendência de aceleração da conversão de vegetação nativa em usos antrópicos persiste. Também é importante investigar, para cada tipo de uso, a dinâmica de distribuição geográfica em escalas menores, para verificar as expansões associadas a focos de queimadas, como em bordas de áreas urbanas, por exemplo.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, K. L. L.; CARBONE, S.. Avaliação da relação entre focos de queimadas e variáveis meteorológicas no Triângulo Mineiro de 2007 a 2019. In: SIMPÓSIO DA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 5., 2021, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: UFU, 2021. p. 211-219.
- ALVES, B. L.. Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 358-367, dez. 2018.
- AMARAL, G. S.. **Análise das ocorrências de queimadas e incêndios em matas e florestas no município de Três Rios, RJ**. 2020. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, 2020.
- ARACRI, L. A. S.; AMARAL, G. M. O.; LOURENÇO, T. C. M.. A expansão do cultivo da soja e as transformações do espaço agrário no Cerrado Mineiro. **Revista de Geografia (PPGEO/UFJF)**, Juiz de Fora, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2011.
- ARAÚJO, T. M. *et al.*. Estimativa de taxas de liberação de carbono em experimento de queimada no Estado do Pará. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, p. 575- 585, 2007.
- ASSAD, M. L. R. C. L.. Recursos biológicos: ocorrência e viabilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1996, Brasília. **Anais [...]**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p. 20-24.
- Assessoria de Comunicação Social - ASCOM. **Ação conjunta visa reduzir o número de queimadas urbanas em Ituiutaba**. 2021. Disponível em: <https://www.ituiutaba.mg.gov.br/n/noticia/acao-conjunta-visa-reduzir-o-numero-de-queimadas-urbanas-em-ituiutaba>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- Associação Mineira de Municípios – AMM. **Caracterização econômica das regiões de planejamento**. 2014. Disponível em: <https://portalamm.org.br/caracterizacao-economica-das-regioes-de-planejamento/>. Acesso em: 28 mai. 2021.
- BACCARO, C. A. D. *et al.*. Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural. **Revista Sociedade & Natureza**, [S. L.], v. 13, n. 25, p. 115-127, 2001.
- BALDEZ, F. *et al.*. Population dynamics of the microbiota in the litter of two tree species of the Atlantic Forest. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 3, p. 1449-1456, jul./set. 2020.
- BATMANIAN, G. J.. **Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado**. 1983. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - UnB, Brasília, 1983.
- BOND, W. J., KEELEY, J. E.. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends Ecol. Evol.**, [S. L.], v. 20, n. 1, p. 387–394, 2015.

BRANDÃO, C. A.. **Triângulo: capital comercial, geopolítica e agroindústria**. Dissertação (Mestrado em Economia). 183f. Belo Horizonte: DE/UFGM, 1989.

BRASIL. **Lei nº 11428, de 22 de dezembro de 2006**. Brasília, DF: Presidente da República, 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm). Acesso em: 17 fev. 2022.

CARDOZO, F. S. *et al.*. Análise espacial das queimadas e seus impactos em Minas Gerais para o ano de 2014. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 66, p. 35-54, jun. 2018.

CARMO, C. N.; HACON, S. S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S. L.], v. 18, n. 11, p. 3245-3258, abr. 2013.

CASSOL, E. A. *et al.*. Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963 a 1999. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: SBCS, 2004.

CAVENAGE, A. *et al.*. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, out./dez. 1999.

CHARLSON, R. J. *et al.*. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. **Tellus: a dynamic meteorology and oceanography**, [S. L.], v. 43, n. 4, p. 152-163, mar. 1991.

CHAVES, M. E. D. *et al.*. Análise espaço-temporal da incidência de focos de calor nos biomas Cerrado e Caatinga em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. [S.L.]: INPE, 2019. p. 3276-3279.

D'ARRIGO, R. C. P.; LORINI, M. L.; RAJÃO, H. A.. Seleção de áreas para conservação na Mata Atlântica brasileira: revisão dos estudos voltados para priorização espacial. **Biodiversidade Brasileira**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 36-49, 2020.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R.. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Metrópole e Saúde**, [S. L.], v. 30, n. 86, p. 83-97, abr. 2016.

DIAS, B. A. S.; ROSENDO, J. S.. Monitoramento do sistema de manejo da cana-de-açúcar nas microrregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil (2015-2017). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 77, p. 263-282, out. 2020.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A.. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal Of Applied Ecology**, [S. L.], v. 53, n. 14, p. 11-15, abr. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Diagnóstico das pastagens do Brasil**. 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

FLORENZANO, T. G.. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: INPE-Oficina de Textos, 2002.

FORZZA, R. C. *et al.*. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **BioScience**, [S. L.], v. 62, n.1, p. 39-45, 2012.

FREITAS, S. R. *et al.*. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, [S. L.], v. 19, n. 53, p. 167-185, ago. 2005.

G1 MINAS. **Saiba como denunciar queimadas**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/05/29/saiba-como-denunciar-queimadas.ghtml>. Acesso em: 16 mar. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Localização geográfica**. 2010. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/localizacao-geografica>. Acesso em: 28 mai. 2021.

GUIMARÃES, E. N.. **Formação e desenvolvimento econômico do Triângulo Mineiro: integração nacional e consolidação regional**. Uberlândia: EDUFU, 2010.

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M.. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, [S. L.], v. 111, n. 2, p. 1-28, jul. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário 2017**. 2019. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 25 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Macrocaracterização dos tipos do solo**. 2015. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/mapas/brasil/macrocaracterizacao\\_tipos\\_solos.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/macrocaracterizacao_tipos_solos.pdf). Acesso em: 28 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa da pecuária municipal**. 2022a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 26 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa trimestral do abate de animais**. 2022b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 26 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal**. 2022c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 24 fev. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio; WWF-Brasil. **Efetividade de gestão das unidades de conservação federais**: avaliação comparada das aplicações do método Rappam nas unidades de conservação federais, nos ciclos 2005-06 e 2010. 2012. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/downloads/relatrio%20rappam%202005%20x%202010%20-%20verso%20integral.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Unidades de Planejamento**. 2020. Disponível em: <http://comites.igam.mg.gov.br/mapa-unidades-de-planejamento>. Acesso em: 10 jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Gráficos**. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#graficos>. Acesso em: 17 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Programa Queimadas: perguntas frequentes**. 2020. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em: 24 jan. 2022.

JESUS, J. B. *et al.*. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176-191, mar. 2020.

JUSTINO, F. B.; SOUZA, S. S.; SETZER, A.. Relação entre "focos de calor" e condições meteorológicas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. [S.L.]: INPE, 2002. p. 2086-2093.

KAISER, J. W. *et al.*. Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. **Biogeosciences Discussions**, [S. L.], v. 9, n. 8, p. 7339-7398, jul. 2011.

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

KUNIYAL, J. C.; GULERIA, R. P.. The current state of aerosol-radiation interactions: a mini review. **Elsevier**, [S. L.], v. 130, p. 45-54, abr. 2019.

LIMA, I. C.. **Monitoramento dos focos de queimadas nos biomas Amazônia e Cerrado nas estações seca e chuvosa de 2017**. 2018. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

LOPES, A. S.; COX, F. R.. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 4, p. 742-747, jul./ago. 1977.

LOPES, S. F; DO VALE, V. S.; SCHIAVINI, E. I.. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 695-704, jul./ago. 2009.



MACHADO, R. B. *et al.*. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservação Internacional**, Brasília, DF, 2004.

MAPBIOMAS. **Brasil**: evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2020). 2021a. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/Cole%C3%A7%C3%A3o6/MBI-Infografico-6.0-PTBR-brasil.jpg>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MAPBIOMAS. **Cerrado**: evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2020). 2021b. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/Cole%C3%A7%C3%A3o6/MBI-Infografico-6.0-PTBR-cerrado.jpg>. Acesso em: 28 jan. 2022.

MAPBIOMAS. **Descrição da legenda**. 2019. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas/mapbiomas-br/v4/%5Bpt-br%5D%20Legenda%20Cole%C3%A7%C3%A3o%204.0%20-%20Descricao%20Detalhada.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MAPBIOMAS. **Fogo no Brasil**: 1985-2020. 2021c. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/MBI-fogo-infografico-PTBR-aprovado.jpg>. Acesso em: 28 jan. 2022.

MAPBIOMAS. **Mineração no Brasil**: 1985 - 2020. 2021d. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MBI-mineracao-infografico-PTBR-rev8.jpg>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MAPBIOMAS. **Plataforma Alerta**. 2022. Disponível em: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomas**. 2021e. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

MARTINS, H. E. de P.. Formação e desenvolvimento sócio-econômico do Triângulo Mineiro. **Varia História**, [S.L.] n. 19, p. 164-182, nov. 1998.

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**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 125-144, jan. 2018.

MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D.. Análise da distribuição espacial dos focos de queimada no estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 1., 2014, Alfenas. **Anais [...]**. Alfenas: UNIFAL, 2014. p. 1657-1669.

MEIRELLES, M. L.. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, jul. 1990.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.. **Climatologia**: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MICHELOTTO, B. D. G.. **Novos Arranjos Territoriais: a expansão da cultura da cana-de-açúcar na região do Triângulo Mineiro – MG.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável). 188f. Brasília: UnB, 2008.

MUNHOZ, L.. **Implicações da regularização ambiental nos contratos agrários: perspectivas da implementação do novo código florestal nos contratos.** 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2020.

MURPHY, D. D.. Desafios à diversidade biológica em áreas urbanas. In: WILSON, O. E. (ed.). **Biodiversidade.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 89-97.

MYERS, N. *et al.*. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [S.L.], v. 403, n. 24, p. 853-858, fev. 2000.

NUNES, B. Y. C.. **Análise da eficiência de absorção de CO2 pela vegetação após um incêndio na Estação Ecológica do Panga por meio de índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto.** 2021. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

OLIVEIRA, A. U.. **A Mundialização da Agricultura Brasileira.** São Paulo: Iandé Editorial, 2016.

OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; BARBALHO, M. G. S.. Manutenção da biodiversidade e o *hotspots* Cerrado. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 101-114, jun. 2008.

PEREIRA, A. A. *et al.*. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 41. n. 100, p. 445-455, 2013.

PEREIRA, A. A. *et al.*. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 459-469, 2014.

PEREIRA, M. F. V.. Os agentes do agronegócio e o uso do território no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: da moderna agricultura de grãos à expansão recente da cana de açúcar. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 23, n. 7, p. 83-104, jun. 2012.

PESSÔA, V. L. S.. Ação do Estado e as transformações agrárias no Cerrado das zonas de Paracatu e Alto Paranaíba/MG. Tese (Doutorado em Geografia). 251f. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1988.

PESSÔA, V. L. S.. Meio técnico-científico-informacional e modernização da agricultura: uma reflexão sobre as transformações no cerrado mineiro. In: MARAFON, G. J.; RUA, J.; RIBEIRO, M. (orgs.) A. **Abordagens teórico-metodológicas em geografia agrária.** Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2007, p. 255-269.

PINTO, L. P. *et al.*. Mata Atlântica brasileira: os desafios para a conservação da biodiversidade de um hotspot mundial.. In: ROCHA, C. F. D. et al (ed.). **Biologia da conservação: essências.** São Paulo: APGIQ, 2006. p. 91-118.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Arêntese, 2007.

REDIN, M. *et al.*. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr./jun. 2011.

RIBEIRO, G. A.; BONFIM, V. R.. Incêndio Florestal versus queima controlada. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 12, p. 8-11, 2000.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T.. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2008. p. 151-199.

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**, Recife, v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.

RODRIGUES, C. A. G.. Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (*Elyonurus muticus* (Spreng.) O. Ktze.) no Pantanal (sub-região da Nhecolândia). 1999. 285 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Unicamp, Campinas, 1999.

ROLDÃO, A. F.; ASSUNÇÃO, W. L.. Caracterização e duração das estações seca e chuvosa no Triângulo Mineiro – MG. **Geonorte**, [S. L.], v. 1, n. 5, p. 428-440, set. 2012.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R.. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 359-376, ago. 2012.

SANTOS, B. A. *et al.*. Distribuição espaço-temporal dos focos de calor no estado de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 64-84, maio 2019.

SANTOS, H. F.. Modernização da agricultura e dinâmica do agronegócio globalizado no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Geografia em Questão**, [S. L.], v. 12, n. 1, p. 9-36, jun. 2019.

SANTOS, S. A.. **As Unidades de Conservação no Cerrado frente ao processo de conversão**. Dissertação (Mestrado em Geografia). 105f. Goiânia: UFG, 2018.

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

SOARES, R. V.. Queimas controladas: prós e contras. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1.; REUNIÃO CONJUNTA IPEF/FUPEF/SIF, 3., 1995, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: IPEF, 1995, p. 6-10.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Incêndios em áreas florestais da Mata Atlântica aumentam quase 10%**. 2020. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/incendios-em-areas-florestais-da-mata-atlantica-aumentam-quase-10/>. Acesso em: 16 fev. 2022.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Mata Atlântica: dados gerais.** 2017. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/conheca/mata-atlantica/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SOUZA, L. C.; PROCÓPIO, L.. The profile of the soil microbiota in the Cerrado is influenced by land use. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [S. L.], v. 105, p, 4791-4803, jun. 2021.

TRINDADE, J. P. P.. **Processos de degradação e regeneração da vegetação campestre do entorno de áreas do sudoeste do Rio Grande do Sul.** 2003. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VALERRO, Daniel.. **Fundamentals of air pollution.** 4. ed. Oxford: Elsevier, 2008.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.. **Meteorologia básica e aplicações.** 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012.