

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Gabriella Dantas Amaral

**CONCENTRAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR NO ASPECTO DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE UBERABA – MG**

Uberlândia, MG
Março de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
GABRIELLA DANTAS AMARAL

CONCENTRAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR NO ASPECTO DO USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE UBERABA – MG

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

Orientadora: Prof. Dra. Raquel Naiara Fernandes Silva.

Uberlândia, MG

Março de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai e a minha mãe, Márcio e Shirley, por todo apoio e incentivo aos meus sonhos.

À minha irmã, Camilla, por estar sempre meu lado.

À minha orientadora, Raquel, por toda paciência, conhecimento compartilhado e por acreditar em mim.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, por toda contribuição profissional durante a graduação.

À Universidade Federal de Uberlândia por toda infraestrutura oferecida e por me proporcionar momentos inesquecíveis.

RESUMO

Apontam-se incêndios às vegetações como um dos principais deteriorantes à biodiversidade nos sistemas ambientais. No Brasil, o cerrado é um dos biomas mais afetados pelas queimadas, principalmente nos períodos de deficiência hídrica. O município de Uberaba, localizado no estado de Minas Gerais, é diretamente afetado por possuir características fitofisionômicas do cerrado em seu ecossistema vegetal e animal. Dados de focos de calor, obtidos por sensores de satélites têm sido amplamente utilizados para identificar regiões de ocorrência de incêndios. Com base nessas informações, é possível destacar a dinâmica temporal/espacial dos focos de calor, podendo estimar a sua localização, data, horário e abrangência. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento espacial dos focos de calor no aspecto do uso e ocupação do solo nos limites de Uberaba, entre os anos de 2010 a 2021, tendo como finalidade identificar regiões e feições de ocupação do solo com maior intensidade de ocorrência do fogo no município, a fim de evitar queimadas, manejar áreas protegidas, proteger lavouras e animais, entre outros. Para determinar a intensidade pontual dos focos de calor, utilizou-se o indicador de *Kernel*, apontando a região sul, sudeste e leste como grande portadora de densidade de incêndios. A partir das informações obtidas, espacializou-se os focos de calor, sendo possível definir frequência, período, local e intensidade. O estudo constatou que os focos de calor são influenciados conforme o uso, ocupação e manejo do solo, concentrando maior incidência em regiões agropecuárias.

Palavras-chaves: monitoramento ambiental; densidade de focos de calor; indicador de *Kernel*; cerrado; ocorrência de fogo; foco de incêndio.

ABSTRACT

Vegetation fires are pointed out as one of the main damages to biodiversity in environmental systems. In Brazil, the cerrado is one of the biomes most affected by fires, especially in periods of water deficit. The municipality of Uberaba, located in the state of Minas Gerais, is directly affected by the phytophysiological characteristics of the cerrado in its plant and animal ecosystem. Hotspot data, obtained through satellite sensors, has been widely used to identify fire occurrence regions. Based on this information, it is possible to highlight the temporal/spatial dynamics of hotspots, being able to estimate their location, date, time, and scope. This work aimed to analyze the spatial behavior of hotspots in the aspect of land use and occupation in the limits of Uberaba, between the years 2010 to 2021, aiming to identify regions and features of land occupation with greater intensity of fire occurrence in the municipality, to avoid fires, manage protected areas, protect crops and animals, among others. To determine the punctual intensity of the hotspots, the Kernel indicator was used, pointing the south, southeast and east regions as a main carrier of density. The study found that hot spots are influenced by land use, occupation, and management, with a higher incidence in agricultural regions.

Keywords: environmental monitoring; density of hotspots; land use and occupation, *Kernel* indicator, thick; occurrence of fire; fire focus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio da estimação da densidade de <i>Kernel</i>	19
Figura 2 - Mapa de localização do município de Uberaba – MG.	22
Figura 3 - Pedologia do município de Uberaba – MG.	23
Figura 4 - Gráficos de precipitação mensal para os anos de 2010 a 2021.....	29
Figura 5 - Mapas de distribuição espacial dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite AQUA e NPP-375 para os anos de 2010 a 2015.....	30
Figura 6 - Mapas de distribuição espacial dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite AQUA e NPP-375 para os anos de 2015 a 2021.....	31
Figura 7 - Gráficos de distribuição mensal dos focos de calor para os anos de 2010 a 2021. .	34
Figura 8 - Mapa de distribuição espacial dos focos de calor totais para os anos de 2010 a 2021.	35
Figura 9 - Mapa de densidade dos focos de calor para os anos de 2010 a 2021.	36
Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 2010 e 2019.	37
Figura 11 - Mapa de uso do solo e focos de calor para a região de Uberaba – MG.....	39
Figura 12 - Causas dos incêndios em vegetação.	40
Figura 13 - Mapa comparativo entre as subdivisões da classe agropecuária para os anos de 2010 e 2019.	42
Figura 14 - Códigos das legendas para os mapas de uso e ocupação do solo.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação quanto ao uso e ocupação do solo no Brasil, coleção 5.	18
Tabela 2 - Descrições das funções de Kernel.	21
Tabela 3 - Matriz de Distância gerada no formato .xlsx com os cálculos das médias.	26
Tabela 4 - Reclassificação das camadas de acordo com o valor atribuído à cada feição do <i>raster</i>	27
Tabela 5 - Focos de calor detectados entre 2010 e 2021.	32
Tabela 6 - Cálculo de áreas para o ano de 2010.	38
Tabela 7 - Cálculo de áreas para o ano de 2019.	38
Tabela 8 - Comparação das classes de uso em relação aos anos de 2010 e 2019.	38
Tabela 9 - porcentagem dos focos de calor em relação ao uso do solo em Uberaba.	40
Tabela 10 - número de focos de calor na subdivisão da agropecuária.	41
Tabela 11 - Comparação de áreas entre as subdivisões da classe agropecuária para os anos de 2010 e 2019.	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos gerais.....	11
1.2 Objetivos específicos	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Queimadas e incêndios	11
2.2 Sensoriamento remoto	13
2.2.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	14
2.3 Uso e ocupação do solo	15
2.3.1 MapBiomass.....	16
2.4 Estimador de densidade de <i>Kernel</i>	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 Área de estudo.....	21
3.2 Metodologia	24
3.3 Gráficos e mapas.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONSIDERAÇÃO FINAL.....	43
REFERÊNCIAS	45
6. ANEXOS	52
6.1 Códigos das classes da legenda e paleta de cores – Mapbiomas – Coleção 5	52

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente exploração de seus recursos naturais, o Brasil tem sido alvo frequente de críticas de organizações ambientais e instituições governamentais de outros países, principalmente com relação à falta de proteção e conservação da vegetação contra incêndios e queimadas (PENA, 2019; MELO et al. 2018). Os crimes ambientais despertam preocupação em todo país, as decorrentes modificações no uso e ocupação do solo influenciam diretamente na incidência de milhares de focos de incêndios, principalmente durante o período de déficit hídrico, ocorrendo geralmente, de maio a setembro.

Embora o uso do fogo seja caracterizado como uma evolução tecnológica da civilização humana, quando usado erroneamente pode ser extremamente danoso a inúmeros ecossistemas (CARDOSO et al., 2003; REDIN et. al., 2011). As queimadas possuem origem diretamente ou indiretamente antrópicas. No Brasil, o fogo é utilizado, de modo geral, para realizar limpeza de áreas agrícolas e florestais; renovar pastagens; controlar pragas e doenças e melhorar o manejo de pré-colheita da cana-de-açúcar. Geralmente, todas essas aplicações modificam a estrutura do solo e causam a depreciação do meio ambiente (REDIN et. al., 2011).

Por se tratar de um assunto de suma relevância, instituições governamentais e organizações ambientalmente corretas de variadas culturas se reúnem para debater este tema (Soares e Santos, 2002; Batista, 2005), tanto no âmbito de precaver incêndios e queimadas, como na remediação e em pesquisas (RAMOS, 1995).

O monitoramento e o combate ao fogo devem se fundamentar em dados históricos e ser capaz de captar focos de incêndios em tempo real. Com essas informações, em temporadas de baixa umidade relativa do ar, instituições especializadas advertem áreas propícias a queimadas, contribuindo com a prevenção e fiscalização (DEEP; PAULA, 2004; PEREIRA et al., 2007; PHULPIN et al., 2002; XAUD et al., 2003; PEREIRA et al., 2012). Em Minas Gerais, todas as entidades de preservação Federais e Estaduais são inspecionadas quanto à incidência de focos de calor, tanto no seu interior, como em regiões adjacentes (PEREIRA et al., 2007).

O Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) colaboram significativamente para obtenção de informações relacionadas ao fogo e ao uso do solo, principalmente por ser capaz de detectar extensas áreas afetadas e/ou de difícil acesso (PEREIRA et al., 1997). As informações de focos de calor e ocupação do solo, obtidas através de imagens de satélites, colaboram eficientemente na prevenção, retificação,

monitoramento e combate destas ocorrências (SILVA, 2013). Com esses dados, é possível estabelecer um dinâmica espaço/temporal devido às estimativas de localização, frequência e período dos incêndios.

A região de estudo está inserida no bioma Cerrado, onde queimadas naturais são regulares por ela dispor de vegetação aberta, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas na estação de seca (PEREIRA, 2003). O Cerrado detém de 5% da biodiversidade do planeta, sendo um dos ecossistemas mais relevante, no entanto um dos biomas mais brasileiros mais prejudicados (MMA, 2004). As transformações de uso da terra no Cerrado tiveram início na década de 70. Para Resck et al. (2008), a aplicação de técnicas inadequadas de manejo do solo, como o uso do fogo, propiciou a rápida degradação, ocasionando perdas de matéria orgânica, nutrientes e desmatamento.

Diante do exposto, esta pesquisa tem por objetivo analisar o comportamento espacial e temporal dos focos de calor detectados no município de Uberaba, Minas Gerais. Assim, será possível estimar áreas de maior intensidade de ocorrência dos incêndios na vegetação. Para tal, será realizada análise exploratória do conjunto de pontos de focos de calor a partir de banco de dados disponibilizados pelo INPE como, BDQueimadas e INMET, juntamente com o estimador de densidade de *Kernel*, visando corroborar diagnósticos quanto ao uso e ocupação do solo será utilizado o MapBiomas e, por fim, o *software* QGIS visando a manipulação dos dados obtidos e a junção dos resultados em mapas temáticos.

A utilização do estimador de densidade se faz interessante pois fornece uma visão da distribuição espacial dos pontos, sendo possível investigar a intensidade pontual dos focos de calor da cidade de Uberaba-MG e com isso averiguar regiões críticas dentro desta delimitação para o período abrangido neste trabalho, que vai de janeiro de 2010 a dezembro de 2021.

Buscando compreender a dinâmica de ocorrência dos incêndios na vegetação de Uberaba foi analisado o padrão de distribuição temporal dos focos de calor, identificando os meses e anos de maior ocorrência através da observação de gráficos, mapas e tabelas que apresentem valores absolutos e relativos representativos desse padrão.

O mapa de uso do solo, visando uma observação sistêmica, será de suma necessidade para determinar quais tipos de ocupação são mais suscetíveis à incêndios e qual sua influência e consequência no município em questão.

Este estudo trará uma contribuição aos estudos que abordem a problemática do fogo, pois serão feitos levantamentos e análises sobre a ocorrência das queimadas, buscando

identificar características como frequência, intensidade, períodos de maior ocorrência, localização e características do uso da terra.

1.1 Objetivos gerais

Analisar os focos de calor no município de Uberaba, a partir de ferramentas de sensoriamento remoto e cartografia, no aspecto do uso e ocupação do solo.

1.2 Objetivos específicos

As seguintes ações foram executadas para que o objetivo geral da pesquisa fosse alcançado:

- Definir a série temporal para que o período de análise seja consistente e capaz de representar, pelo meio do tempo escolhido, o comportamento da região quanto à incêndios, uso e ocupação do solo e suas consequências;
- Espacializar os focos de calor, obtidos através do BDQueimadas, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para que se estabeleça uma zona de acontecimentos, ou seja, definir onde ocorre, a frequência, período e intensidade, sendo possível a precaução e intervenção;
- Apresentar gradiente a partir do estimador de densidade de Kernel, onde será possível fornecer uma visão espacial dos focos de incêndios no município de Uberaba – MG, identificando regiões expressivas;
- Analisar o uso e ocupação do solo com o auxílio do MapBiomass e *softwares* específicos como, *Google Earth Engine* e *QGIS*, no qual foram analisados quais os tipos de manejos culturais quem mais sofrem com o fogo no município

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Queimadas e incêndios

Para Coutinho (1990), fogo é uma reação química, onde estão envolvidos uma fonte de energia, oxigênio e material combustível. Quando há a queima de uma determinada vegetação, o mesmo pode ser classificado como incêndio florestal ou queimada controlada. Quando o fogo está descontrolado e causando a supressão vegetal de uma região, é classificado como incêndio florestal, quando possui objetivos definidos e delimitação de área, é chamado de queimada controlada (RIBEIRO; BONFIM, 2000; SOARES; BATISTA, 2007; WHITE; WHITE, 2016).

Tanto os incêndios florestais quanto as queimadas controladas são nocivas à preservação da biodiversidade e do meio ambiente. Seus impactos causam depreciação sobre a flora e a fauna, acarretam a degradação ambiental e resultam na deterioração do solo, deixando-os mais susceptíveis a processos erosivos, além de liberar uma significativa quantidade de gases responsáveis pelo efeito estufa e prejudiciais à saúde na atmosfera (SOARES; BATISTA, 2007; WHITE et al., 2013; WHITE; WHITE, 2016).

De acordo com Coutinho (2006), classifica-se o bioma como uma área do espaço geográfico com mais de um milhão de quilômetros quadrados de dimensão territorial, caracterizado por deter de um macroclima definido, de fitofisionomia, ecossistemas associados e condições ambientais representativas, como, por exemplo, incêndios florestais recorrentes.

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil, superado apenas pelo bioma amazônico (Ribeiro & Walter, 1998). Ele se destaca pela biodiversidade do ambiente, da fauna e flora (Rezende, 1998), sob o ponto de vista farmacológico (Almeida et al., 1998) e devido à abundância em fontes de água límpidas.

Segundo Pereira, França e Santos (2003), mesmo o cerrado sendo suscetível a sofrer queimadas naturais, em decorrência de suas fitofisionômicas e meteorológicas, as principais causas de incêndios são advindas de ações antrópicas. Essas que provêm do uso do fogo para limpeza/renovação de pastagens e abertura de áreas propícias à edificação de plantas, corroborando com a premissa de que a região em questão está relacionada a esses incêndios propositais, por se tratar de um forte polo agropecuário. Segundo Pena (2019), dentro do período de um ano, mais de 10% (47.147,33 ha) de toda extensão territorial do município de Uberaba sofreu alteração no uso do solo, onde houve a conversão de vegetação nativa em atividade agropastoril.

No artigo 225 da Constituição da República, decidiu-se que “uma vez que se possa prever que uma atividade possa ser danosa, ela deve ser evitada, (...) exigindo-se assim, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental” (BRASIL, 1988).

Para Pardo (2012), perdurar o uso do fogo em atribuições agropastoris ou florestais em regiões suscetíveis a alta propagação de focos de incêndio em períodos de déficit hídrico, é antagônico à proteção constitucional ao meio ambiente. O meio ecologicamente equilibrado, é um bem essencial à qualidade de vida. Nas circunstâncias regionais ou

locais apresentadas, o manejo do fogo é uma prática que não se associa aos direitos legais e constitucionais conceituados no sistema jurídico, a impor ao Estado sua supressão.

Ainda seguindo a premissa de Pardo (2012), reavaliar a utilização do fogo em atividades econômicas agropastoris ou florestais é de suma relevância. No artigo 225 de 1988, a Constituição da República garante o “direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado [como] bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

O Poder Público atua diretamente na efetivação desse direito, integrando, dentre outros, na exigência de um estudo prévio de impacto ambiental. O EIA (Estudo de Impacto Ambiental) é indicado para a instalação de atividade potencialmente causadora de degradação ao meio ambiente; no controle do emprego de técnicas ou métodos que ofereçam risco à vida, à qualidade de vida e ao meio ambiente e, por fim, na promoção de educação ambiental para a preservação desse último, determinando, ainda, se as atividades propostas irão assegurar a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988).

2.2 Sensoriamento remoto

Para Granemann et al. (2009) a defesa contra incêndios deve ser contínua, uma vez que representa perigo frequente. Assim, a prevenção do fogo deve ser praticada constantemente, a fim de evitar que o incêndio atinja proporções incontroláveis, incorrendo em perdas de vidas e danos patrimoniais.

Neste sentido, o Sensoriamento Remoto tem papel fundamental no monitoramento de focos de calor. Uma vez que ele possibilita analisar a região atingida através das interações entre a radiação eletromagnética e os componentes do planeta Terra, considerando o comportamento espectral de cada alvo para a interpretação dos fenômenos ocorridos (GRANEMANN et al., 2009).

O termo Sensoriamento Remoto, de acordo com Meneses e Almeida (2012), é o conjunto de técnicas destinadas à obtenção de informações sobre objetos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sem que haja contato físico entre eles, utilizando sensores a bordo de satélites.

Dessa forma, com as informações obtidas através dos registros das imagens em conjunto com as técnicas de geoprocessamento, como o Sistema de Informações Geográficas, é possível identificar e quantificar mudanças na paisagem. Para Vaeza et al.

(2010), a espacialização e caracterização do uso e ocupação do solo por meio do sensoriamento remoto permite identificar e monitorar alterações ocorridas na paisagem

A aplicação potencial para interpretação visual de imagens de satélites podem ser:

- Mapeamento de incêndios e queimadas;
- Mapeamento de áreas agrícolas;
- Mapeamento de florestas;
- Mapeamento de hidrologia;
- Mapeamento de crescimento urbano e áreas artificializadas;

Para Caetano et. al (2008), a cartografia é direcionada à identificação de focos de calor e ao uso e ocupação do solo, ela é tida como um instrumento primordial e indispensável, sendo aplicada em tomadas de decisões, planejamento do território e na definição de políticas de gestão de recursos naturais.

2.2.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Para Pena (2019), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite coletar, manipular, sobrepor e visualizar grande de informações. A tecnologia tem se mostrado uma forte aliada para o monitoramento de áreas desmatadas e acometidas por incêndios, principalmente através dos *softwares* de sensoriamento remoto e banco de dados especializados, como o BDQueimadas, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Com o uso das informações geográficas, obtidas através de satélites que geram imagens, é possível observar inúmeros fenômenos ambientais, são eles: desmatamento criminoso, queimadas, incêndios florestais, modificação do solo, entre outros (GRANEMANN et al., 2009).

De acordo com Moraes, Santos e Sobral (2006), quando aplicado corretamente em estudos de avaliação ambiental, o SIG se torna uma eficiente ferramenta de planejamento, colaborando no processo decisório e permitindo um estudo contínuo e evolutivo de uma determinada situação. No caso dos incêndios florestais e de ocupação do solo, o uso do SIG é de suma importância para identificar áreas altamente suscetíveis a incêndios (BUI; VAN LE; HOANG, 2018).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem se dedicado no desenvolvimento de sistemas de geoprocessamento e processamento de imagens desde 1984 (SIBGRAPI, 1992). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), juntamente com o INPE, inaugurou o Centro Integrado Multiagências de Coordenação Operacional (CIMAN) que, segundo eles, seria uma

“plataforma virtual criada para o monitoramento das queimadas e focos de incêndio em todo o território nacional, disponibilizando informações em tempo real” (ASCOM, 2014).

O aperfeiçoamento de modelos que sejam capazes de prever ameaças de incêndios florestais de forma precisa e confiável é importante para a segurança pública, além de auxiliar no planejamento de supressão, manejo florestal e alteração do uso do solo, permitindo aos gestores elaborar estratégias de prevenção a longo prazo (THACH et al., 2018; PAZ, 2011).

A utilização do SIG, portanto, é de grande relevância para o planejamento e diagnóstico ambiental, de forma que por meio da combinação de software e hardware, as informações geoespaciais são processadas para obter a entrada e o armazenamento de dados. Sendo assim, essa ferramenta poderá ser utilizada na proteção contra incêndio a vegetação (DONG et al., 2017).

2.3 Uso e ocupação do solo

Devido à sua grande biodiversidade e solos altamente capazes de suportarem produção em grande escala, o cerrado se viu bastante ocupado após a década de 70. Essa ocupação se deu em razão do aumento de produções variadas de *commodities* agropecuárias, onde o Brasil atualmente é grande exportador (MIZIARA; FERREIRA, 2008).

Para Silva (2013), desde que o estado brasileiro promoveu o incentivo ao uso e ocupação do solo, com a intenção de promover a produção agrícola extensiva, modernização e expansão, o bioma tem sofrido com as perdas acentuáveis de seus remanescentes e isso tem gerado consequências drásticas, tais como a redução e fragmentação de seus ecossistemas (CARVALHO et al., 2009).

No Brasil, o uso do fogo ainda é muito praticado no manuseio de pastagens, pois é forma rápida e barata de reduzir a biomassa, estimular a rebrota de forragem para a pecuária, diminuir as pragas e remover os remanescentes agrícolas. No entanto, no período seco, a vegetação está mais suscetível ao fogo, podendo, quando ocorrer, tomar proporções desastrosas, como: atingir áreas de vegetação nativa, matar animais silvestres, espécies endêmicas e avançar sobre áreas urbanas (COCHRANE, 2009).

Para Soares (2019), o estudo de dinâmicas de uso e ocupação do solo tem como objetivo a classificação e percepção das evoluções que ocorreram sobre a superfície do solo, sejam elas alterações de vegetação, relevos, ocupações antrópicas, entre outros. O bioma cerrado, se encontra em um impasse entre o avanço econômico e a preservação de

sua biodiversidade, o estudo de uso e ocupação do solo tem grande importância econômica, social e ambiental para toda a sociedade. Desse modo, a expectativa para o futuro é de um mapeamento frequente, permanente, padronizado e acurado. Para May e Reis (2016), o mapeamento é constituído de diferentes métodos e indicadores que permitem a avaliação da realidade ambiental, fornecendo informações necessárias para tomadas de decisões, visando o desenvolvimento sustentável.

Existem diversos sistemas utilizados para mapear o uso e cobertura do solo. Cada país é responsável por desenvolver sistemas capazes de classificar dados sobre uso e ocupação de suas terras. Neste caso, todas essas técnicas são feitas a partir de imagens de detecção remota e fotointerpretação. Para Rosa (2003), deverão ser levadas em conta as especificidades de cada país como, resoluções espaciais de cada satélite, tipos de sensores, resolução espectral, radiométrica, espacial, temporal, entre outros. As classes e escalas também são adaptadas aos mais diversos biomas, contextos e realidades de cada região. Portanto, para o mapeamento de uso e ocupação do solo, poderiam seguir metodologias semelhantes, mas com aplicação diferenciada, levando em consideração a realidade de cada região.

De acordo com Facco e Benedetti (2016), para analisar as mudanças ocorridas no uso do solo é recomendado a utilização de imagens de satélites oriundas de diferentes períodos para obtenção de uma análise multitemporal. Sendo cada vez mais utilizada, essa análise tem a finalidade de auxiliar no diagnóstico da expansão de áreas agrícolas, urbanas, bem como, o avanço do desmatamento e o monitoramento de focos de calor (CARVALHO et al., 2005).

2.3.1 MapBiomas

O MapBiomas foi desenvolvido em 2015 através da iniciativa do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima (<http://www.observatoriodoclima.eco.br/>) objetivando uma metodologia rápida e de baixo custo para classificar o uso da terra e cobertura do solo nas últimas décadas. É desenvolvido por uma rede de ONGs, universidades e empresas de tecnologia, cada uma responsável por determinados biomas ou temas específicos (agricultura, pastagem e zona costeira). Eles produzem mapas anuais a partir de 1985 para todos os biomas brasileiros (MAPBIOMAS, 2017).

Os dados de classificação do MapBiomas estão disponíveis por ano. Ao todo, seis coletas de dados, que foram geradas em diferentes fases do projeto, já foram divulgadas.

A Coleção 1 teve legenda simplificada e produziu mapas de 2008 a 2015, enquanto a Coleção 2 teve legenda e metodologia aprimoradas e estendeu o período de mapeamento de 2000 a 2016. A Coleção 3 abrangeu o período de 1985 a 2017; Coleção 4 e 5 incluíram os anos de 2018 e 2019 e, por fim, a coleção 6 tem em seu banco de dados o ano de 2020.

A metodologia MapBiomias é totalmente automatizada e integrada ao Google Earth Engine (GEE). Também utiliza de imagens Landsat, e sua metodologia envolve a construção de uma biblioteca espectral para a realização de *Spectral Mixture Analysis* (SMA). As imagens fracionárias resultantes da SMA são empregadas para calcular a Imagem da Fração Diferencial Normalizada (NDFI) (SOUZA JR. et al., 2005). Os recursos SMA e NDFI foram usados para construir uma classificação empírica de árvore de decisão para o MapBiomias.

O mapeamento MapBiomias possui escala de 1:100.000, com áreas naturais e antrópicas do bioma. Segue os conceitos e nomenclaturas usadas para o mapeamento MapBiomias 2020, coleção 5:

- Formação Florestal: floresta ombrófila densa, aberta e mista e floresta estacional semi-decidual, floresta estacional decidual e formação pioneira arbórea;
- Formação Savânica: caracterizadas como típica dos cerrados brasileiros. São formações com tipos de vegetação ralo, com algumas árvores de médio porte, caracterizada como caducifólia;
- Mangue: formações florestais, densas, sempre-verdes, frequentemente inundadas pela maré e associadas ao ecossistema costeiro de manguezal;
- Floresta Plantada: espécies arbóreas plantadas para fins comerciais, por exemplo, eucalipto, pinus, araucária, entre outros.
- Mosaico de Agricultura e Pastagem: áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
- Campo Alagado e Área Pantanosa: são classes onde possui incidência de água encharcada durante todo o ano. Depressões próxima a cursos de água com vegetação.
- Formação Campestre: foram consideradas as plantações de pomares, como culturas de café, cana-de-açúcar, seringueiras onde o comportamento das plantações deriva-se de colheitas sucessivas, sem a necessidade de novos plantios;
- Apicum: formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada que o manguezal;

- Afloramento Rochoso: rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade;
- Outras Formações não florestais: área coberta por vegetação natural, mas pouco densa;
- Praia e Duna: são áreas onde possuem proximidades com rios e lagos, areia exposta e principalmente onde há falta de vegetação;
- Infraestrutura Urbana: áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções;
- Mineração: áreas referentes a extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ação de maquinário pesado;
- Outras áreas não vegetadas: áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes;
- Rio, Lago e Oceano: representações de recursos hídricos;
- Aquicultura: atividade voltada para a produção de recursos aquáticos como peixes e frutos do mar.

Tabela 1 - Classificação quanto ao uso e ocupação do solo no Brasil, coleção 5.

Classes	MapBiomias
Floresta	Floresta Natural 1. Formação Florestal 2. Formação Savânica 3. Mangue Floresta Plantada
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa Formação Campestre Apicum Afloramento Rochoso Outras Formações não florestais
Agropecuária	Pastagem Agricultura 1. Lavoura Temporária 2. Soja 3. Cana 4. Outras Lavouras Temporárias 5. Lavoura Perene 6. Mosaico de Agricultura e Pastagem
Área não vegetada	Praia e Duna Infraestrutura Urbana Mineração Outras áreas não vegetadas
Corpo d'água	Rio, Lago e Oceano Aquicultura

Fonte: MapBiomias, 2020.

2.4 Estimador de densidade de *Kernel*

O estimador de densidade de *Kernel* consiste em quantificar as relações dos pontos dentro de um raio (R) de influência, com base em determinada função estatística, analisando os padrões traçados por determinado conjunto de dados pontuais, estimando a sua densidade na área de estudo (BERGAMASHI, 2010).

Para Kawamoto (2012), a densidade de *Kernel*

[...] suaviza as superfícies, calculando a densidade para cada região da área de estudo, utilizando interpolação. Isto permite a construção de uma superfície contínua de ocorrências das variáveis, inferindo para toda a área de estudo a variação espacial da variável, mesmo nas regiões onde o processo não tenha gerado nenhuma ocorrência real, permitindo verificar, em escala global, possíveis tendências de dados.

A técnica de *Kernel*, ainda seguindo a premissa de Kawamoto (2012), “[...] consiste num estimador probabilístico de intensidade do processo pontual não-paramétrico através de função *Kernel*. As entradas para aplicação são as ocorrências da variável (na área, através de um sistema de coordenadas)”. Câmara e Carvalho (2004), acrescentam que “esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse”.

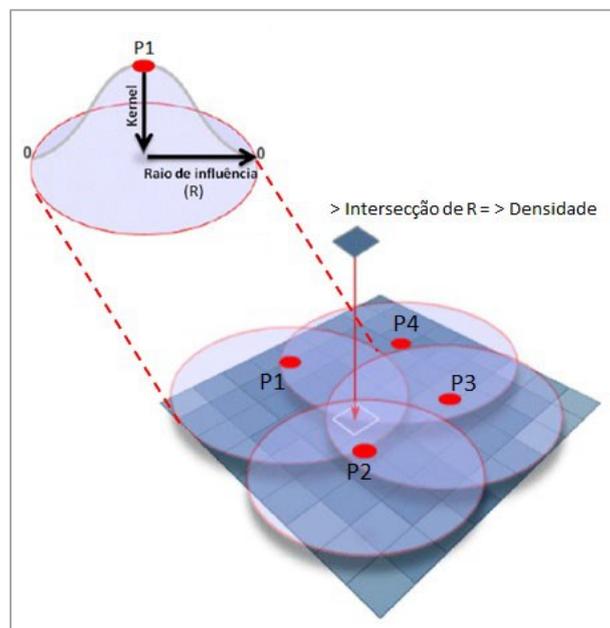


Figura 1 - Princípio da estimação da densidade de *Kernel*.

Fonte: Adaptado de Bergamaschi, 2010.

Para Rizzatti et al. (2020), a Figura 1 demonstra a constituição da estimação da densidade de *Kernel*, através da intersecção (\cap) do raio de influência (R) dos dados pontuais, materializados por meio de um sistema de coordenadas (x, y). Entre $P1 \cap P2$,

$P2 \cap P3$, $P3 \cap P4$ e $P4 \cap P1$ apresentam uma densidade 2, pois ocorre a sobreposição de 2 R, diferentemente do $P1 \cap (P3 \cap P4)$, que apresenta densidade 3 por possuir 3 R de influência e, assim, sucessivamente. No exemplo apresentado, a maior densidade corresponde a 4, visto que é a intersecção $(P1 \cap P2) \cap (P3 \cap P4)$. Destaca-se que a figura representa uma ilustração didática da densidade de *Kernel*, variando de acordo com a função Kernel utilizada para suavização dos dados.

De acordo com Ministério da Saúde (2007), o estimador de densidade de *Kernel* tem a finalidade de suavizar as probabilidades univariadas ou multivariadas. Para aplicação da densidade de Kernel, é necessário estimar o raio de influência (R) e a função de estimação (k). O raio (R) é determinado através da equação 1:

$$R = \bar{X} \pm \bar{X}_\sigma \quad (1)$$

Onde,

\bar{X} = média da distância média;

\bar{X}_σ = média do desvio-padrão.

O valor do R é calculado partir da adição e subtração das médias das distâncias médias (\bar{X}) de cada um dos pontos com a média do desvio padrão (\bar{X}_σ), a fim de tentar aproximar um valor adequado aos pontos, optando por aquele que se adequa mais ao tipo de informação almejada (RIZZATTI et al., 2020).

Segundo Câmara e Carvalho (2004, p. 5), “o raio de influência define a área centrada no ponto de estimação u, que indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade λ ”. Assim, a amplitude do raio pode influenciar na suavização dos dados, gerando superfícies descontínuas ou muito amaciadas, que acontece quando a região não demonstra sua real precisão, aumentando seu grau de influência. Nesse sentido, como aponta Kawamoto (2012), a escolha do raio R é fundamental para determinar a densidade final e a correta interpretação do fenômeno.

A função de estimação (k) retrata as propriedades necessárias para a suavização do fenômeno. Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2007) e Kawamoto (2012), podem ser expressos a partir da fórmula descrita a seguir (Equação 2). Se P representa uma localização qualquer em R e P_1, P_2, \dots, P_n são as localizações dos n eventos observados, então um estimador para λ , em P é dado por:

$$\hat{\lambda}_R(P) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R^2} k\left(\frac{P - P_i}{R}\right) \quad (2)$$

Onde $k(\cdot)$ é uma função *kernel* bivariada e simétrica chamada de função de estimação ou alisamento e o parâmetro $R > 0$ representa o raio de influência, que determina o grau de suavização; essencialmente ele é o raio de um disco centrado em P , em que os P_i irão contribuir significativamente para $\hat{\lambda}(P)$ (KAWAMOTO, 2012).

A função de estimação k pode ser determinada de acordo com o objetivo do trabalho e com o banco de dados disponíveis, podendo ser quártica, triangular, uniforme, Epanechnikov e Gaussiana, conforme ilustrado na Tabela 2 (RIZZATTI et al., 2020).

Tabela 2 - Descrições das funções de Kernel.

Função <i>Kernel</i> (k)	Descrição
Quártica	Pondera com maior peso os pontos mais próximos do que pontos distantes, mas o decréscimo é gradual.
Triangular	Dá maior peso aos pontos próximos do que os pontos distantes dentro do círculo, mas o decréscimo é mais rápido.
Uniforme	Pondera todos os pontos dentro do círculo igualmente.
Epanechnikov	É o ideal no sentido de variância mínima.
Gaussiana ou Normal	Pondera os pontos dentro do círculo de forma que os pontos mais próximos têm maior peso comparados com os mais afastados.

Fonte: Adaptado de Kawamoto, 2012.

A escolha da função *Kernel* (k) a ser utilizada é fundamental para objetivo que se pretende, pois são equações que levam a resultados diferentes. De modo igual, a escolha do raio de influência é crucial, pois pode produzir significantes alterações da estimativa final. Cabe destacar que se trata de uma técnica de interpolação exploratória que gera uma superfície de densidade para a identificação visual de “áreas quentes”, ou seja, de concentração de eventos ou que indica de alguma forma a aglomeração em uma distribuição espacial (BRASIL, 2007).

Por essa razão, a função Kernel pode atuar como uma ferramenta adequada no mapeamento de focos de incêndios no município de Uberaba, fornecendo uma visão geral da distribuição espacial dos pontos e possibilitando a investigação da intensidade pontual dos focos de calor encontrados. Dessa maneira, tal ferramenta pode atuar como um apoio importante para os órgãos ambientais à prevenção de incêndios florestais.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A Microrregião de Uberaba é uma divisão territorial estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990), localiza-se no Estado de Minas

Gerais, abrangendo os municípios de Uberaba, Conceição das Alagoas, Delta Campo Florido e Conquista. De acordo com o IBGE (2021), o município é limitado pelo sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) 7813501,767m e 192659,932m, com altitude de 823m, posicionado no fuso 23S (Figura 2).

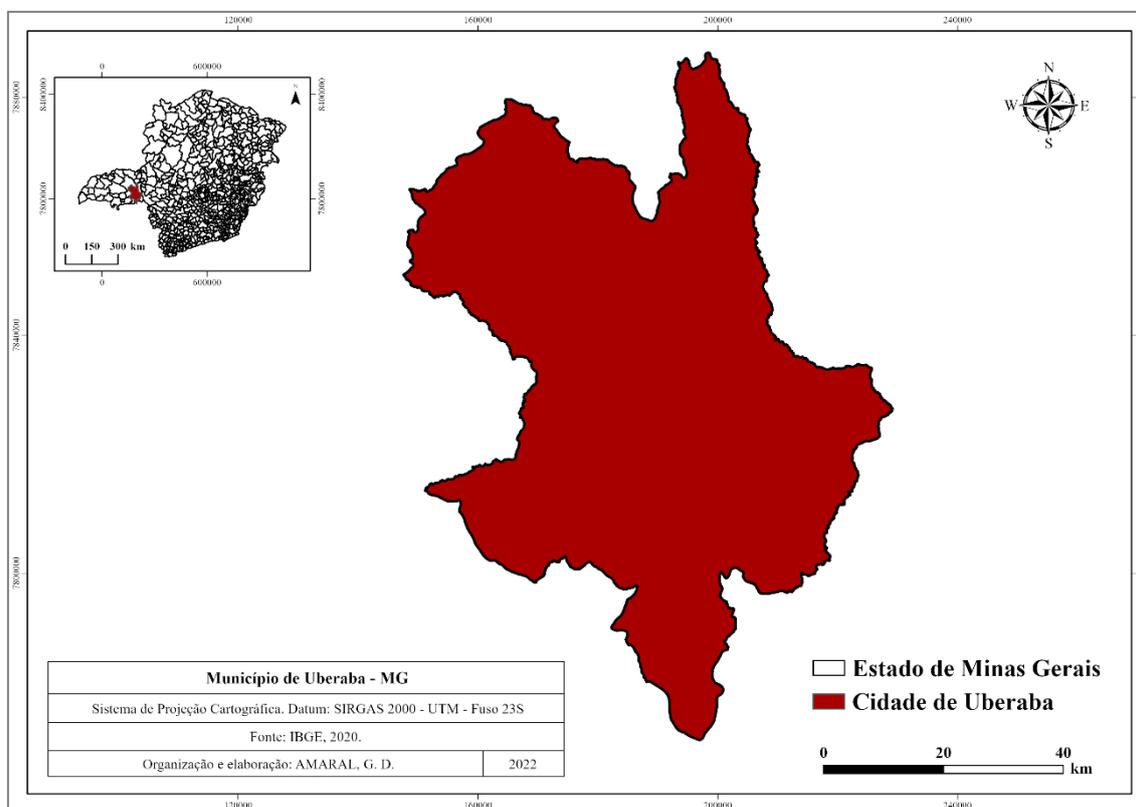


Figura 2 - Mapa de localização do município de Uberaba – MG.

Fonte: autor, 2022.

A cidade de Uberaba é a oitava colocada entre aquelas de maiores populações do estado, comportando cerca de 340.277 habitantes, com território equivalente a 4.523,96km². O município é reconhecido nacionalmente pelas atividades do agronegócio, sobretudo voltadas para pecuária bovina moderna, produção de grãos e cana-de-açúcar (IBGE, 2020).

A região está inserida no bioma cerrado. Para Freitas (2009), a biota é descrita por dominar vegetação do tipo savânica, mas incluem variedades de fitofisionomias que divergem desde campos com predomínio de gramíneas, subarbustos, arbustos de troncos retorcidos, até formações florestais.

Durante os meses de maio a setembro ocorre do período de déficit hídrico na região. O clima de Uberaba, pela classificação do Köppen, é do tipo Aw, portanto, apresenta domínio climático conceituado como semi-úmido, sendo de 4 a 5 meses secos e temperatura média anual de 23,2 °C (VALLE JUNIOR et. al., 2010). A região apresenta

verões chuvosos e invernos secos, caracterizando um total pluviométrico médio anual de 1681 mm (CLIMATE-DATA, 2022).

Além disso, os solos de grande ocorrência na região são os Latossolos, intercalados por Argissolos, Cambissolos e solos hidromórficos, como os Gleissolos (FIGURA 3). Segundo Ker (1997), Latossolos são considerados solos profundos e com boa estrutura, pode-se dizer, no entanto, que regiões detentoras de latossolos, dispõe de baixos índices de fragilidade contra a degradação; os Cambissolos, para Santos et. al. (2018), são definidos como solos pouco desenvolvidos, possui pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo; Argissolos são solos com argila de atividade baixa, ou atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico; para o Instituto Agrônomo de São Paulo (2021), os Gleissolos são presentes, principalmente, em planícies ou várzeas inundáveis, e, como limitante, possui elevada frequência de alagamentos e longos períodos de saturação por água.

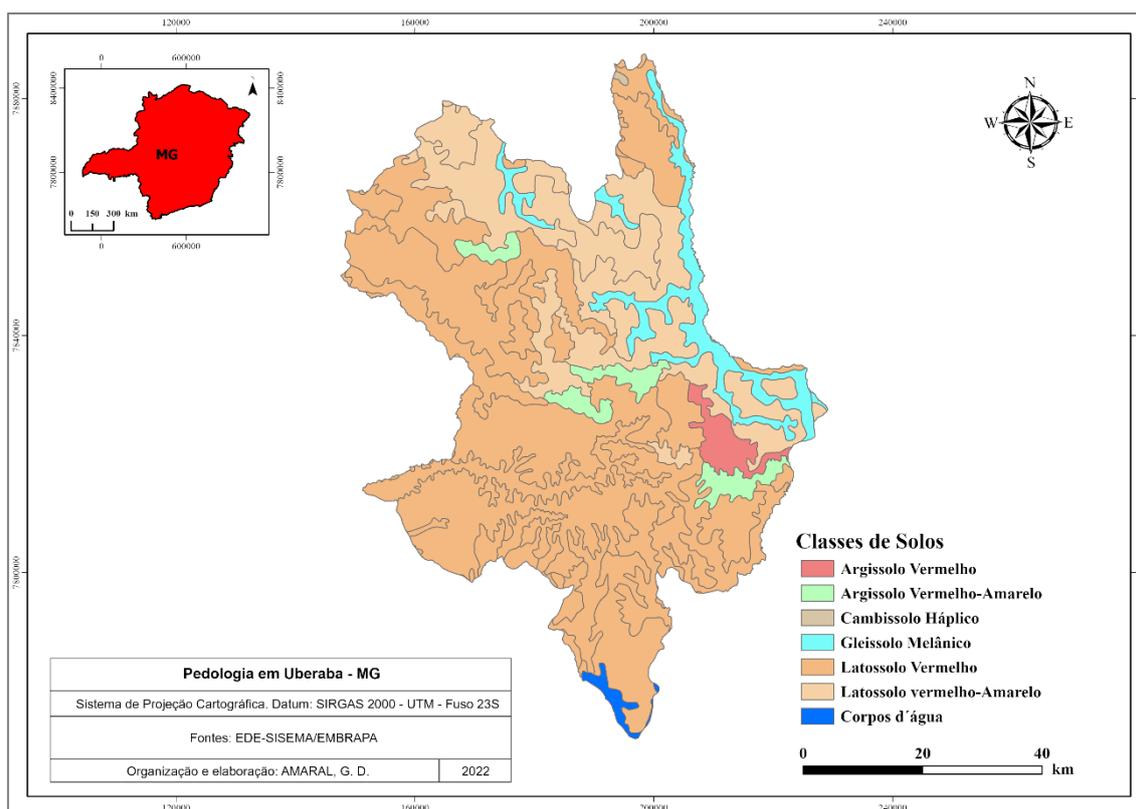


Figura 3 - Pedologia do município de Uberaba – MG.

Fonte: autor, 2022.

Para Santos et. al. (2016), devido às condições climáticas de Uberaba, ocorre o ressecamento da vegetação tornando o ambiente propício à ocorrência de incêndios

florestais. Existe uma forte relação entre a ocorrência de incêndios e as variações anuais das condições meteorológicas.

De acordo com Pantaleão Júnior e Ferreira (2020) os incêndios florestais tem se tornado uma modalidade de desastre no município e se agravado consideravelmente nos últimos tempos, mantendo relação com as mudanças no uso da terra e cobertura vegetal, sendo observado através dos dados concebidos pelo sistema de prevenção de incêndios florestais e monitoramento da cobertura vegetal no Cerrado brasileiro, criado pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (FIPCERRADO, 2022).

A região do Triângulo Mineiro foi inserida no Projeto Monitoramento do Cerrado – UFMG, devido à evolução da monocultura e sua expansão territorial. Sabe-se que Minas Gerais apresenta condições naturais que favorecem o cultivo da cana-de-açúcar, especialmente no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (GOMES DE SOUZA; CLEPS JUNIOR, 2009). Com isso, o avanço da cultura da cana de açúcar no Triângulo Mineiro, tornou essa região a maior produtora desta cultura no Estado de Minas Gerais, sobretudo, a partir do ano de 2005 (BRITO; REIS, 2012).

A Microrregião de Uberaba insere-se nesse contexto, por possuir quantidades expressivas de terras sendo utilizadas para o plantio de cana de açúcar, investindo e colaborando com o crescimento de usinas do setor sucroalcooleiro (GOMES DE SOUZA; CLEPS JUNIOR, 2009).

3.2 Metodologia

É importante destacar que a análise e o mapeamento das áreas estudadas foram desenvolvidos utilizando os softwares ArcGis Pro da *Environmental Systems Research Institute* e *Quantum Gis* (QGIS), ambos são uma multiplataforma de SIG.

Todos os dados utilizados no estudo estão georreferenciados no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23S e no sistema de referência SIRGAS 2000, na escala de 1:250.000.

3.3 Gráficos e mapas

As informações exibidas nos pluviogramas foram concedidas pelo INMET, <https://bdmep.inmet.gov.br/> (INMET, 2021). Os gráficos apresentam a distribuição da precipitação mensal, em milímetros, para o município de Uberaba, no período de 2010 a 2021. Para escolha da estação meteorológica, na região existem no momento, somente uma estação automática A568, vigente desde outubro de 2018. Logo os gráficos

apresentam informações pluviométricas de duas estações, sendo elas convencionais, anos de 2010 a 2018 e automática, 2019 a 2021. Para Clarke e Dias (2002), a análise de dados pluviométricos é importante para estabelecer relações entre a duração e ocorrências de chuvas intensas, mensurar quantidades e diferenciar períodos de escassez.

Os gráficos referentes à distribuição mensal dos focos de calor para a região de Uberaba foram gerados através dos dados conferidos pelo Programa de Queimadas do INPE (BDQUEIMADAS, 2022). Organizou-se uma base de dados geográficos, formada a partir das informações obtidas referente aos focos de calor, em formato *shapefile*. Estes dados são constituídos de pontos no qual possuem informações cruciais sobre os focos de calor. Os atributos de cada ponto são: data e horário da observação (dia, mês e ano), tipo de satélite, município, bioma no qual a região está inserida, e coordenadas geográficas (latitude e longitude).

Os dados de focos de calor, utilizados nessa pesquisa, foram provenientes de sensores a bordo dos satélites AQUA e NPP-375, ambos com detecção matutina e vespertina, computados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/>.

Como alternativa para diminuir possíveis erros de duplicação, manipulou-se as tabelas, filtrando data, horário e coordenadas geográficas. Foram removidas informações que continham esses três atributos supracitados de forma repetida ou dados com data e horário iguais, mas coordenadas extremamente próximas.

Em seguida, com o auxílio de *softwares* de informações geográficas, QGIS e ArcGis Pro, foi modelado o padrão de distribuição do conjunto de ponto, através do estimador de densidade de *Kernel*. Para Silva et. al. (2013), o interpolador é usado para gerar uma superfície contínua entre os dados amostrais, sendo esses geralmente pontos.

Para aplicação da densidade de *Kernel*, é necessário estimar o raio de influência (R) e a função de estimação (k). Para determinar o valor do raio foi necessário, primeiramente, determinar a distância média, desvio padrão, distância mínima e máxima de cada um dos pontos, com isso, utilizou-se o algoritmo “Matriz de Distância” do QGIS 3.4.3. A ferramenta está localizada em: processar > caixa de ferramentas > matriz de distância.

Observa-se o modo de operação do algoritmo no QGIS, os seguintes parâmetros:

- 1 – Camada de entrada, pontos provenientes dos focos de calor;
- 2 – Campo identificador, único;
- 3 – Camada de relação, igual à camada de entrada;

- 4 – Campo identificador, único;
- 5 – Escolha da Matriz de Distância (Sumário da matriz de distância);
- 6 – Local e nome do *shapefile* de saída.

O arquivo gerado possui as colunas contendo: código de notificação (campo identificador único), distância média, desvio padrão, distância mínima e distância máxima de cada caso confirmado. O shapefile foi então exportado para formato .xlsx, sendo possível sua execução no *software Microsoft Office Excel*. Com isso calculou-se a média da distância média e a média do desvio padrão para obtenção do raio (TABELA 3).

Identificador	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	40830,45303	23764,92394	566,25624	97741,69236
2	41764,90555	23893,69907	559,74541	98848,59831
3	33308,06561	20614,19732	327,54199	86580,93406
4	36437,04588	12797,15529	560,73893	63846,49509
5	39034,62014	23548,72566	356,66788	95427,10504
6	38065,52159	23341,37796	327,22675	94205,32596
7	39297,39878	17689,57817	234,50351	78985,60892
8	38000,08118	17478,76474	439,83372	77480,91768
9	36777,04496	17200,52708	250,22488	75989,88958
...
n	\bar{X}_n	$\bar{\sigma}_n$	Min_n	$Máx_n$
Expressão	=MÉDIA(B2:Bn)	=MÉDIA(C2:Cn)	-	-

Tabela 3 - Matriz de Distância gerada no formato .xlsx com os cálculos das médias.
Fonte: autor, 2022.

Para os pontos dos focos de calor determinados para região de Uberaba, a média da distância média foi de 37.041,43m e a média do desvio padrão, 18.018,3m. Sendo assim, testou-se o valor do raio (R) como resultado da soma entre as duas variáveis (37.041,43 + 18.018,3 = 55.059,73m) e com a subtração (37.041,43 - 18.018,3 = 19.023,13m). Foi observado que o raio de maior valor gerou descontinuidade e amaciamento exagerado, ou seja, suavizando as classes e conduzindo a interpretações errôneas, ao contrário do raio de menor valor. Dessa forma foi então utilizado o R obtido através da subtração da média da distância média pela média do desvio padrão.

Nesta pesquisa aplicou-se a função Quártica referente ao indicador de Kernel, ponderando com maior peso os pontos mais próximos. A função se mostrou adequada ao trabalho, pois gerou uma superfície de densidade mais próxima ao real.

O mapa de uso e ocupação do solo foi gerado a partir de informações obtidas através do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2022). Para o presente trabalho foi escolhido os mapas de uso dos anos de 2010, 2015 e 2019, se encaixando na Coleção 5 do MapBiomass.

A importação dos dados foi realizada através do *Google Earth Engine* (GEE), onde foi possível definir a região de interesse e aplicar os anos desejados, podendo realizar o *download* das informações geradas. Após isso, foi feita a manipulação desses arquivos no *software* QGIS. Primeiramente reprojeteu-se o sistema de coordenadas, antes em graus para um sistema de coordenadas métrico, SIRGAS 2000 UTM Fuso 23S, onde foi possível realizar cálculos estatísticos.

Após essa etapa, reclassificou-se as camadas geradas a partir dos códigos disponibilizados pelo MapBiomias. A classificação se deu em 6 classes, sendo elas: floresta natural, floresta plantada, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpos d'água. Por se tratar de um raster, as informações foram geradas através de códigos. Logo, a feição que detém de valor 3, por exemplo, representa a formação florestal de acordo com o MapBiomias (ANEXO 1).

Assim, de modo a incluir todos as classes e valores necessários, a classificação ocorreu através do algoritmo “Reclassificar por tabela” (TABELA 4).

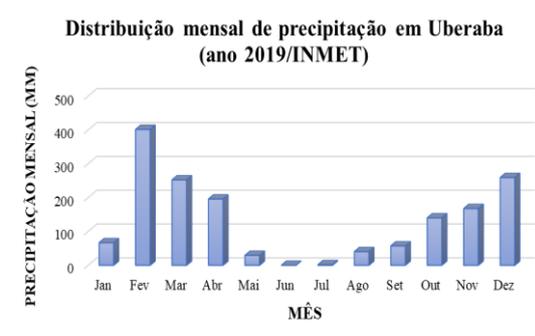
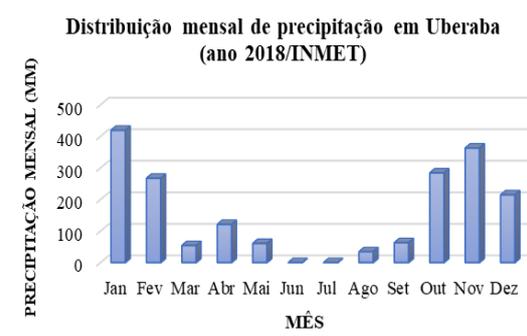
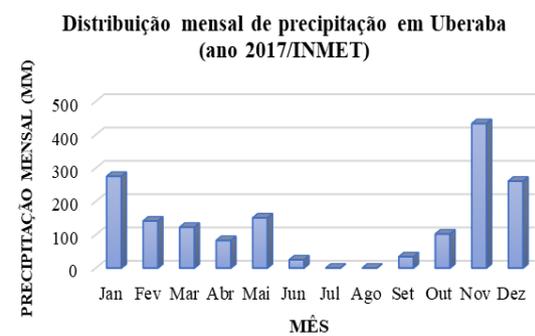
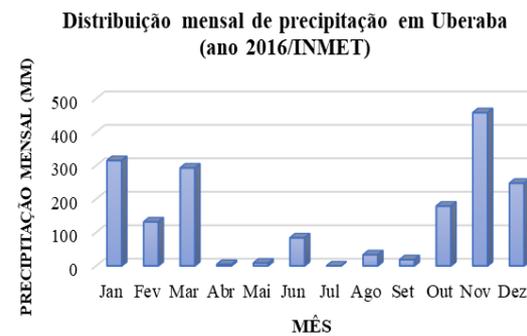
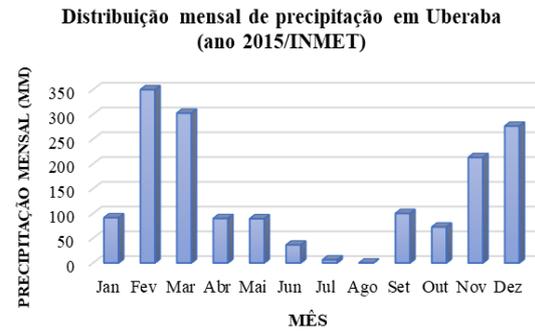
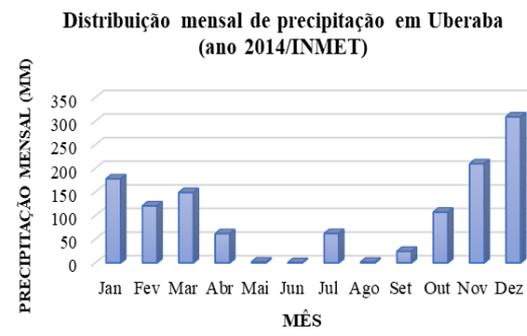
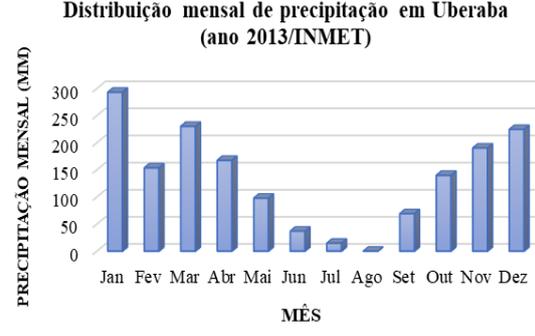
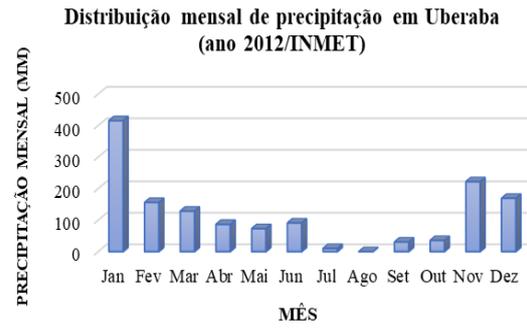
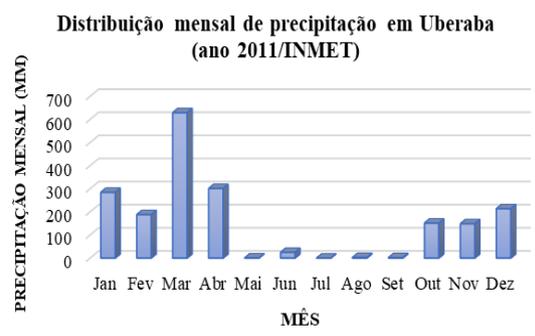
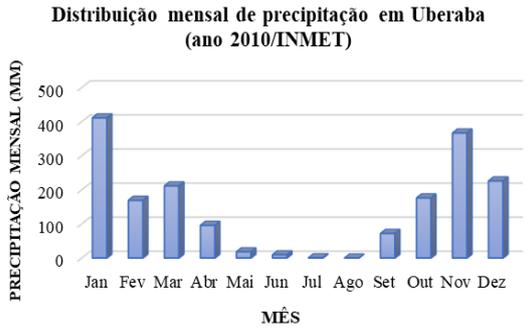
Mínimo	Máximo	Valor	Classe
2.5	5.5	1	Floresta Natural
8.5	9.5	2	Floresta Plantada
10.5	13.5	3	Formação Natural não Florestal
28.5	29.5	3	Formação Natural não Florestal
31.5	32.5	3	Formação Natural não Florestal
14.5	15.5	4	Agropecuária
19.5	21.5	4	Agropecuária
35.5	36.5	4	Agropecuária
38.5	39.5	4	Agropecuária
40.5	41.5	4	Agropecuária
22.5	25.5	5	Área não vegetada
29.5	30.5	5	Área não vegetada
30.5	33.5	6	Corpos d'água

Tabela 4 - Reclassificação das camadas de acordo com o valor atribuído à cada feição do *raster*.
Fonte: autor, 2022.

Após a conclusão da reclassificação, editou-se a simbologia de cada feição com cor referente, exemplificadas no Anexo 1. Finalmente, calculou-se as áreas de cada classe. Para isso transformou-se o *raster* para polígono e por meio da ferramenta “Calcular Geometria” obteve-se a área em hectares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os pluviogramas (Figura 4), observou-se que os períodos de déficit hídrico são acentuados de maio a setembro no município de Uberaba, identificados como estação de seca.



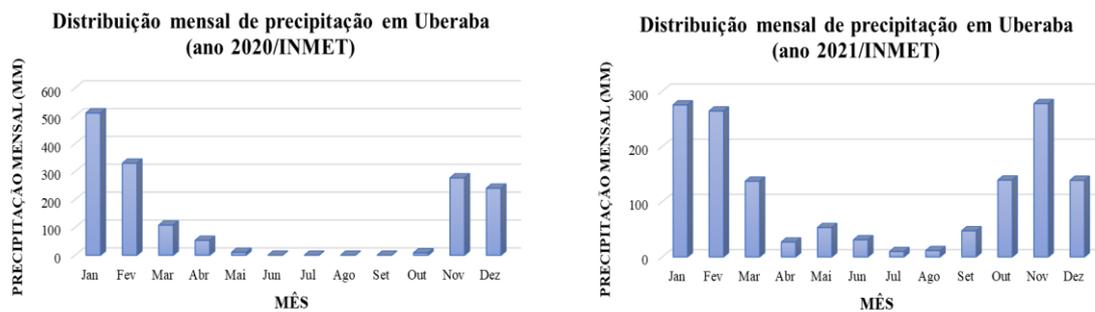


Figura 4 - Gráficos de precipitação mensal para os anos de 2010 a 2021.
 Fonte: INMET, 2021.

O município de Uberaba tem sido atingido anualmente com a ocorrência de incêndios. Tendo em vista os dados analisados nos últimos 12 anos, cerca de 3.337 focos de calor foram detectados pelos sensores a bordo dos satélites AQUA e NPP-375. Os mapas de distribuição dos focos (Figuras 5 e 6) revelam o comportamento espacial do fogo nos períodos de seca.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR EM UBERABA 2010 - 2015

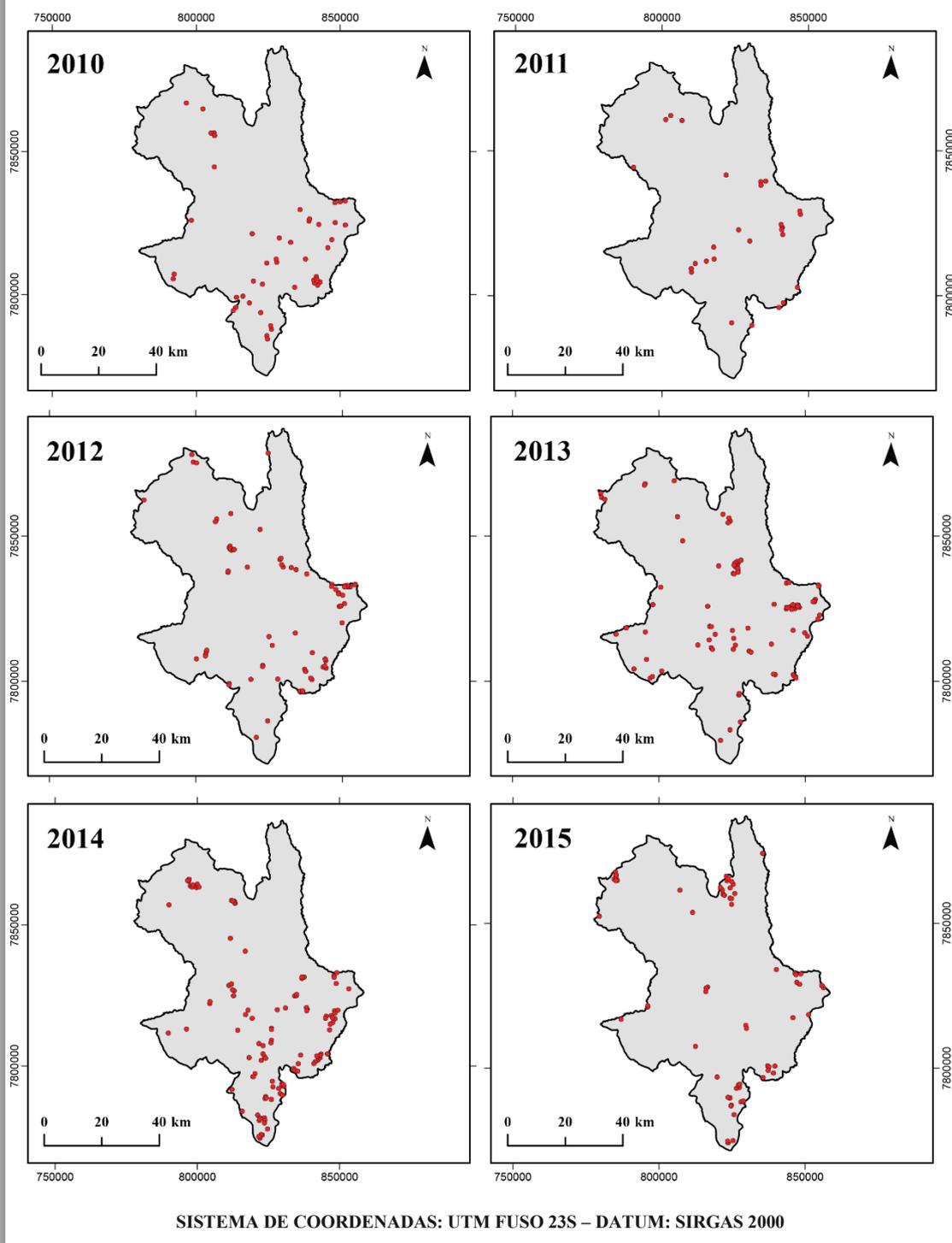


Figura 5 - Mapas de distribuição espacial dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite AQUA e NPP-375 para os anos de 2010 a 2015.

Fonte: autor, 2022.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR EM UBERABA 2016 - 2021

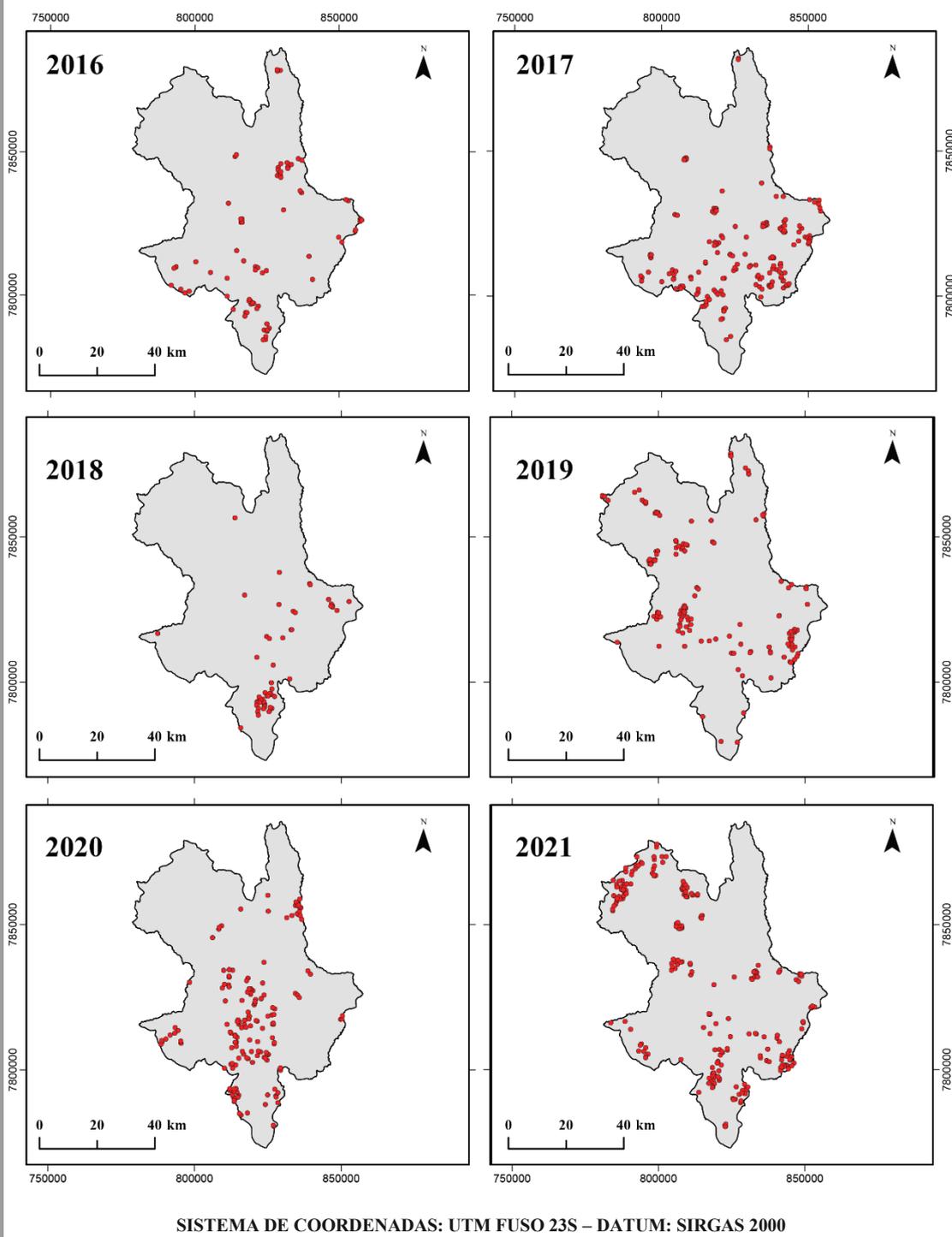


Figura 6 - Mapas de distribuição espacial dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite AQUA e NPP-375 para os anos de 2015 a 2021.

Fonte: autor, 2022.

De forma geral, verificou-se que os focos de calor se apresentam concentrados na porção leste/sul do município, exemplo dos anos de 2010 e 2014, representados no mapa de distribuição, observando-se um padrão. Em relação aos anos de 2016 e 2021, observou-se uma alteração na disposição dos pontos devido incêndios causados às culturas de cana-de-açúcar, sendo eles para colheita ou fogo acidental.

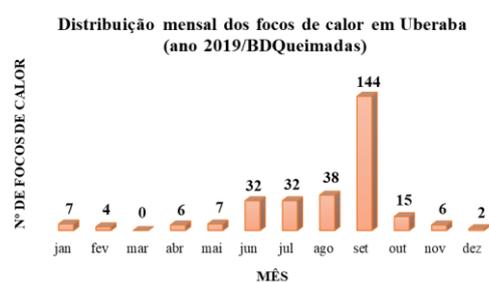
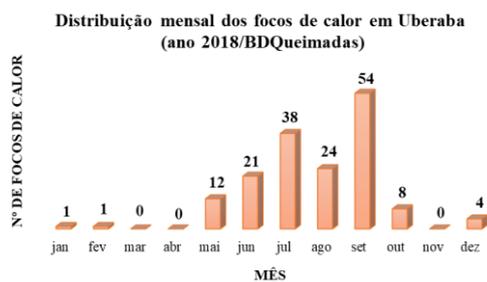
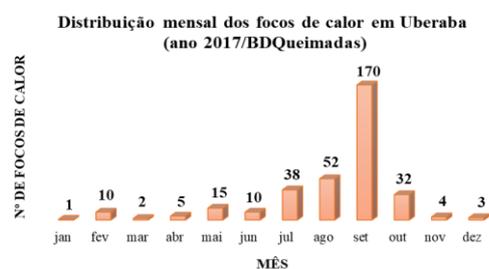
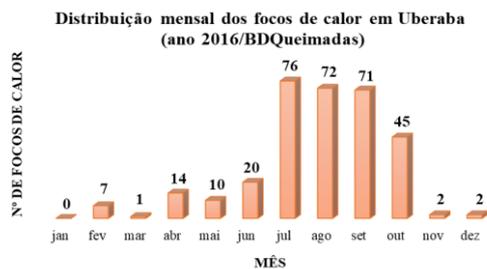
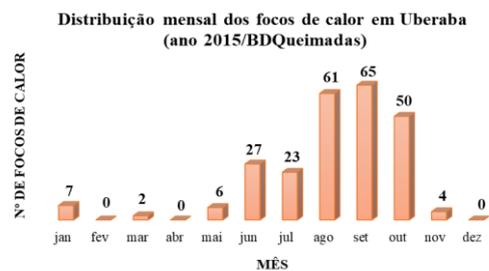
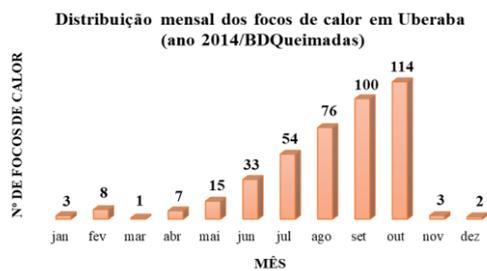
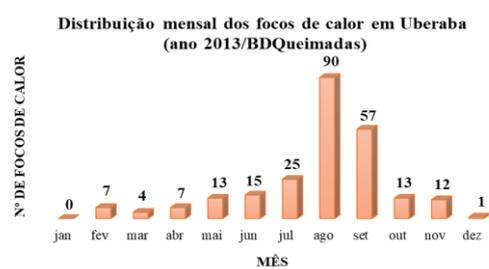
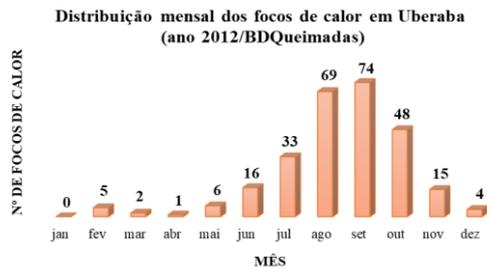
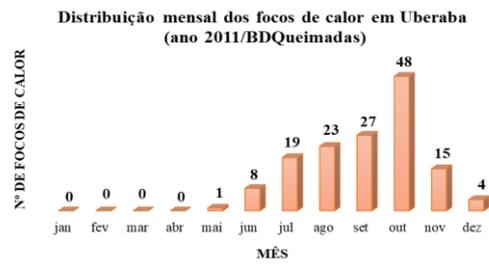
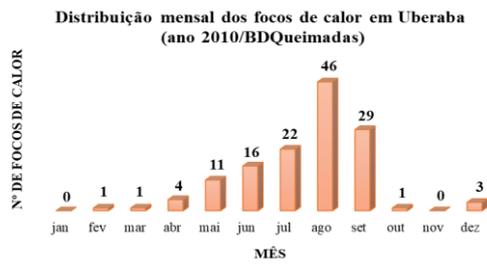
A fim de verificar qual ano e período tiveram maior incidência de focos de calor na região de Uberaba, estruturou-se uma tabela com o número de focos anuais para cada mês (TABELA 5). Nota-se que os anos de 2014, 2020 e 2021 foram os que se destacaram dos demais, apresentando 416, 402 e 423 casos de focos de calor, respectivamente. Comparando o ano de 2021 com o ano de 2011, que apresentou menor incidência (82 ocorrências), o município sofreu um aumento de 81% nos eventos de fogo. Em relação aos 12 meses estudados, os que sofreram maiores números de ocorrências foram os meses de agosto e setembro, com 706 e 1.185 casos, nessa ordem.

MÊS \ ANO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Janeiro	0	0	0	0	3	7	0	1	1	7	2	1	22
Fevereiro	1	0	5	7	8	0	7	10	1	4	0	2	45
Março	1	0	2	4	1	2	1	2	0	0	2	9	24
Abril	4	0	1	7	7	0	14	5	0	6	13	9	66
Mai	11	1	6	13	15	6	10	15	12	7	12	14	122
Junho	16	8	16	15	33	27	20	10	21	32	18	22	238
Julho	22	19	33	25	54	23	76	38	38	32	39	39	438
Agosto	46	23	69	90	76	61	72	52	24	38	83	72	706
Setembro	29	27	74	57	100	65	71	170	54	144	160	234	1185
Outubro	1	3	48	13	114	50	45	32	8	15	59	11	399
Novembro	0	1	15	12	3	4	2	4	0	6	14	5	66
Dezembro	3	0	4	1	2	0	2	3	4	2	0	5	26
TOTAL	134	82	273	244	416	245	320	342	163	293	402	423	

Tabela 5 - Focos de calor detectados entre 2010 e 2021.

Fonte: BDQueimadas (adaptado pelo autor), 2021.

A partir da Figura 7 foi possível visualizar a distribuição mensal dos focos de calor em Uberaba. Os gráficos compreendem toda série histórica estudada, sendo possível ter um balanço mensal e analisar melhor o comportamento dos eventos naquele determinado momento.



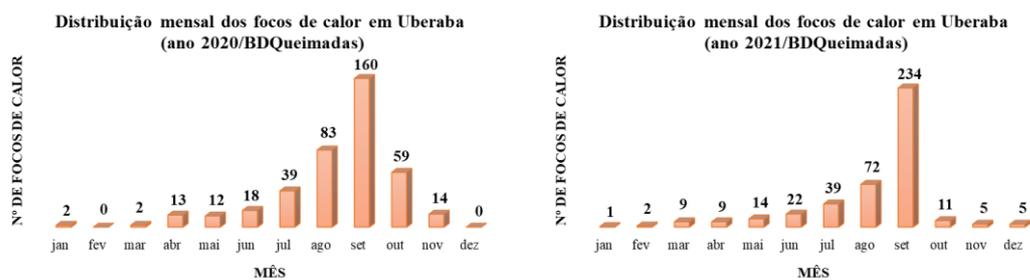


Figura 7 - Gráficos de distribuição mensal dos focos de calor para os anos de 2010 a 2021.
 Fonte: BDQueimadas – INPE, 2022.

Além disso, os meses que detêm maior índice de focos de calor são aqueles caracterizados por depositar materiais combustíveis no solo, como folha e galhos, tornando-se altamente inflamáveis, devido à redução dos níveis de umidade em razão da escassez hídrica e das altas temperaturas características da época.

Como método de estudo, será explorado apenas os meses que apresentaram maior incidência de focos de calor, sendo eles, agosto e setembro. Na Figura 8, visualiza-se a distribuição espacial para esse período. Nota-se que apesar de bem distribuídos, há uma concentração de pontos na porção sul/leste/nordeste do município.

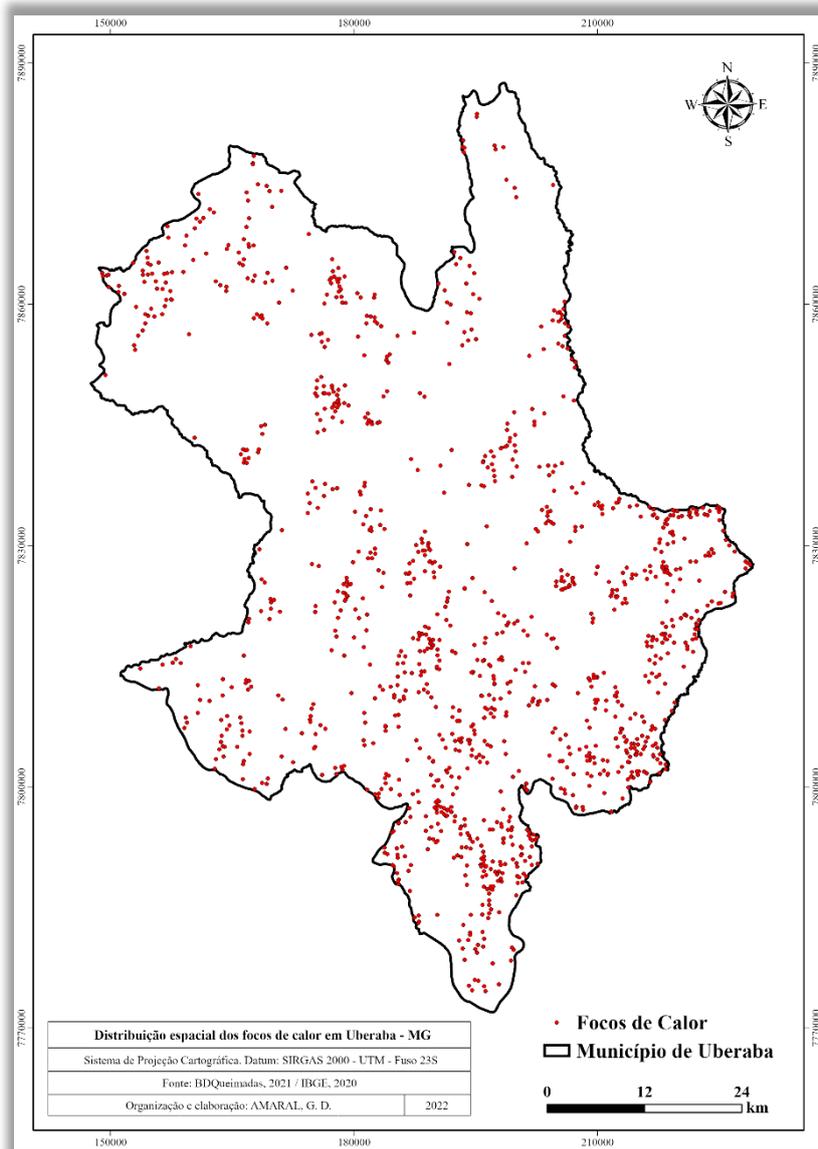


Figura 8 - Mapa de distribuição espacial dos focos de calor totais para os anos de 2010 a 2021.
Fonte: autor, 2022.

O mapa de densidade de *Kernel* apresenta o resultado da interpolação dos focos de calor, sendo possível observar a intensidade pontual na região de estudo, estimando a sua densidade (FIGURA 9).

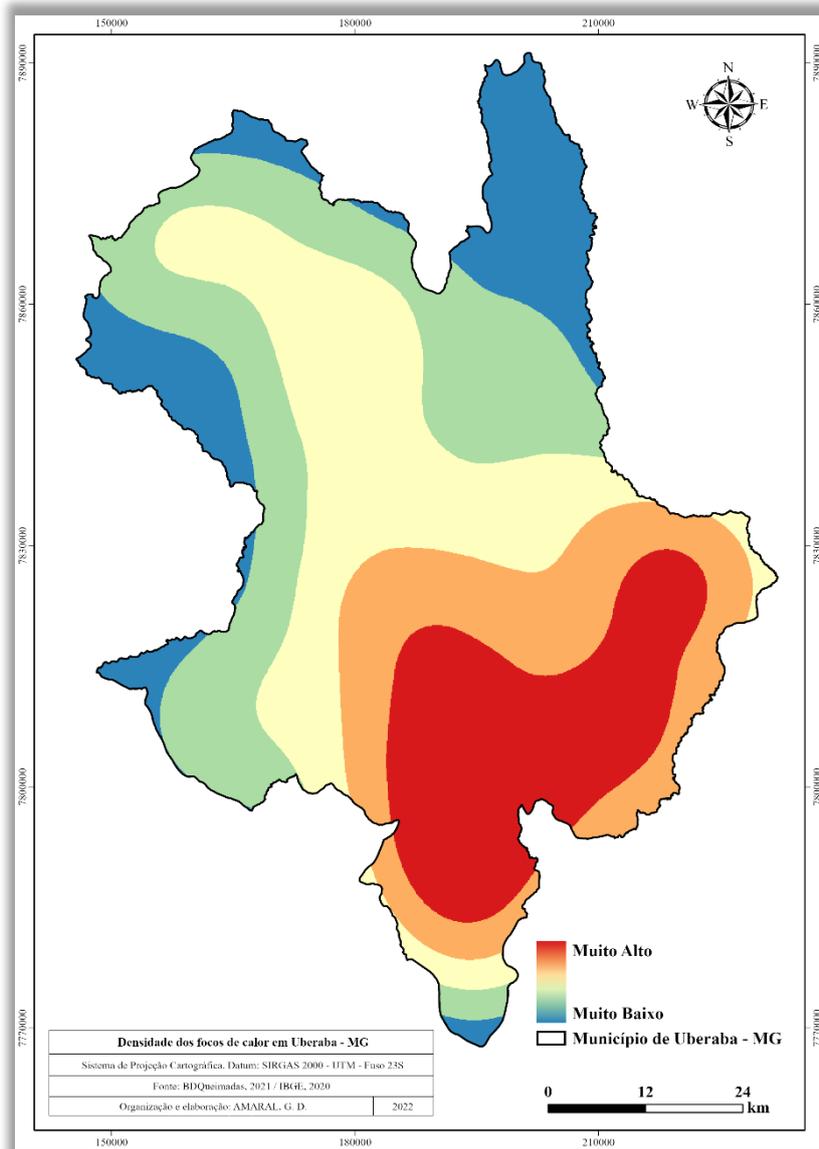


Figura 9 - Mapa de densidade dos focos de calor para os anos de 2010 a 2021.
Fonte: autor, 2022.

Analisando o mapa de densidade de *Kernel* notou-se que manchas com densidade muito alta, em tom de vermelho, foram encontradas restritamente nas regiões sul, estendendo-se para o leste. A alta densidade representada por manchas em tom laranja, foram encontradas circundantes à região de densidade muito alta, também na porção sul do município, porém se estendendo para o centro. Manchas com densidade média, em tom de amarelo pastel aparecem mais centralizadas na região. As classes de densidade baixa e muito baixa retratadas por tom de verde e azul aparecem concentradas na porção norte, prolongando-se para as extremidades da cidade.

Através do mapa de *Kernel* identificou-se a densidade pontual e em quais porções do município estão mais concentrados os focos de calor. A fim de justificar a causa para

esses acontecimentos, corroborou os resultados obtidos através dos focos de calor com os usos do solo. Dessa forma, foi possível identificar se o tipo de manejo e ocupação interferem no aumento da intensidade dessas ocorrências na região.

Escolheu-se os anos de 2010 e 2019, devido à proximidade dos atributos quando comparado aos anos restantes. Logo, a fim de identificar alterações consideráveis sofridas na cobertura do solo, determinou-se um período de 10 anos de diferença.

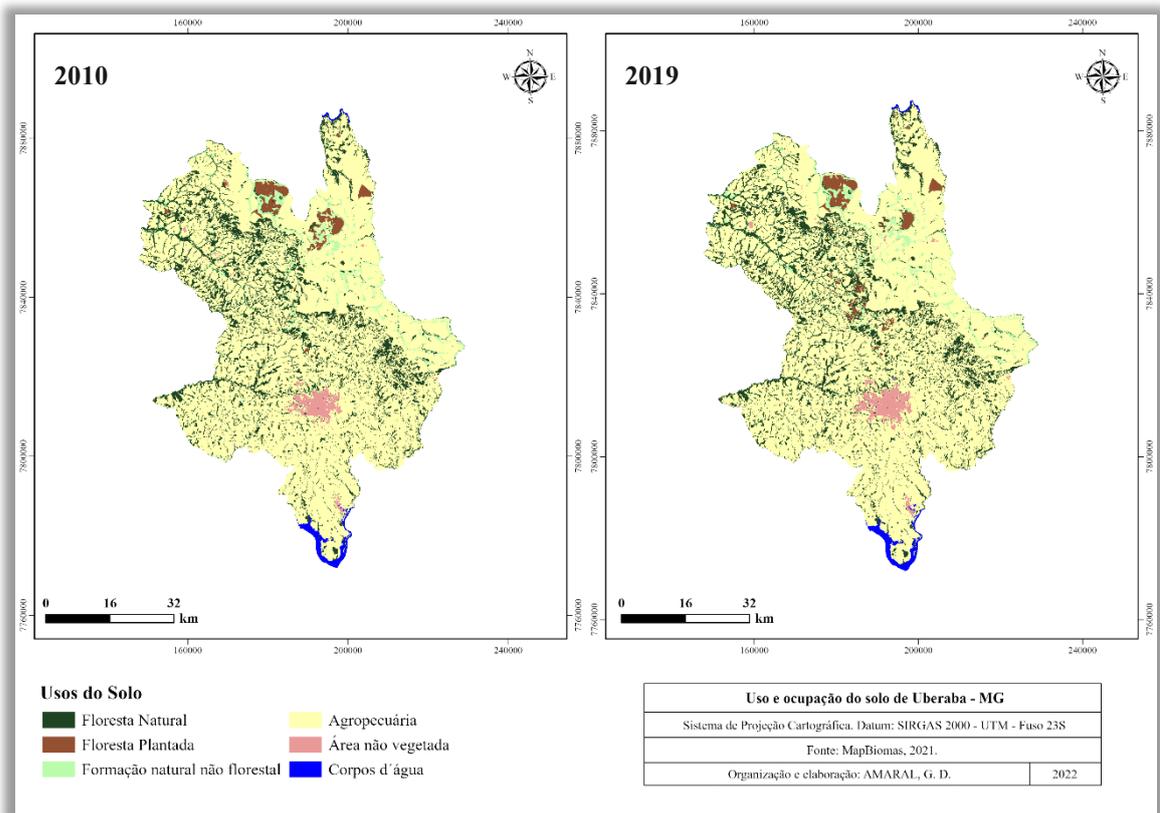


Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 2010 e 2019.

Fonte: autor, 2022.

Para o mapa de uso e ocupação do solo, observou-se pequenas alterações nas características visuais e na divisão espacial do ano de 2010 para 2019. Para isso, calculou-se as referidas áreas em km², exibidas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 - Cálculo de áreas para o ano de 2010.

Ano de 2010		
Classe	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Floresta Natural	712,06	15,71
Floresta Plantada	78,44	1,73
Formação natural não florestal	174,81	3,86
Agropecuária	3.455,68	76,25
Área não vegetada	70,58	1,56
Corpos d'água	40,35	0,89
Total	4.531,92	100,00

Fonte: MapBiomias (adaptado pelo autor), 2020.

Tabela 7 - Cálculo de áreas para o ano de 2019.

Ano de 2019		
Classe	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Floresta Natural	718,90	15,83
Floresta Plantada	81,16	1,79
Formação natural não florestal	165,64	3,65
Agropecuária	3.451,74	76,01
Área não vegetada	82,87	1,82
Corpos d'água	40,73	0,90
Total	4.541,05	100,00

Fonte: MapBiomias (adaptado pelo autor), 2020.

Nota-se que, apesar de não serem expressivas visualmente, há uma significativa modificação na área, como por exemplo o aumento de áreas não vegetadas em 12,3km² e de florestas plantadas em 2,7km², seguido pela diminuição de 9,2km² sobre as regiões voltadas à formação natural não florestal. As áreas de modificação em relação aos anos de 2010 e 2019 estão expostas na Tabela 8.

Tabela 8 - Comparação das classes de uso em relação aos anos de 2010 e 2019.

Classe	Área (km ²) 2010	Área (km ²) 2019	Modificação (km ²)	Modificação (%)
Floresta Natural	712,06	718,90	6,8	1,0
Floresta Plantada	78,44	81,16	2,7	3,5
Formação natural não florestal	174,81	165,64	-9,2	-5,2
Agropecuária	3.455,68	3.451,74	-3,9	-0,1
Área não vegetada	70,58	82,87	12,3	17,4
Corpos d'água	40,35	40,73	0,4	0,9
Total	4.531,92	4.541,05	-	-

Fonte: MapBiomias (adaptado pelo autor), 2020.

A partir da Figura 12, percebe-se que o domínio da agropecuária, incluindo pastagens e plantações de culturas, é intenso. A ocupação representa mais de 76% de todo o território de Uberaba, em ambos os anos, tornando-se propícia a concentrarem maiores índices de focos de calor. Para Melo (2012), o uso do fogo como prática agropastoril, é empregado no preparo de áreas para agricultura ou pecuária, sendo técnica utilizada no pastoreio para controle fitossanitário de pragas e ervas daninhas. A manipulação do fogo em solos voltados à agricultura contribui para que os nutrientes presentes nele (cálcio, fósforo, nitrogênio, dentre outros) venham à superfície, enriquecendo a plantação vigente (EMBRAPA, 2016). No entanto, o uso do fogo deve ser praticado de forma sustentável e buscando o equilíbrio ambiental, sendo evitado sempre que possível.

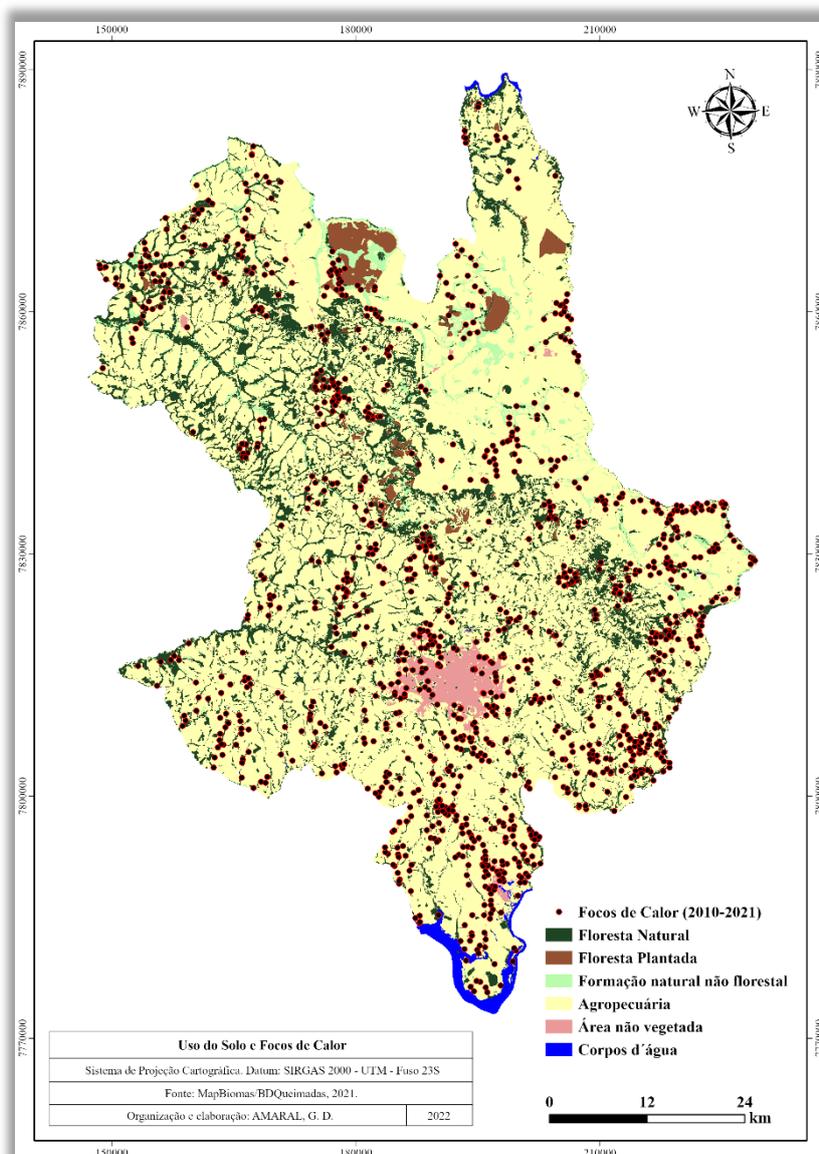


Figura 11 - Mapa de uso do solo e focos de calor para a região de Uberaba – MG.
Fonte: autor, 2022.

De acordo com o mapa temático apresentado acima, especializou-se os focos de calor em relação ao uso do solo, inferindo que sua grande maioria ocorre em ocupações de agropecuária e floresta natural (TABELA 9).

Tabela 9 - Porcentagem dos focos de calor em relação ao uso do solo em Uberaba.

Classe	Focos de Calor	Porcentagem (%)
Floresta Natural	194	15,5
Floresta Plantada	7	0,6
Formação natural não florestal	74	5,9
Agropecuária	942	75,1
Área não vegetada	36	2,9
Corpos d'água	1	0,1
Total	1254	100

Fonte: BQueimadas (adaptado pelo autor), 2021.

Isso se dá, pois, grande parte desses focos de calor, maior parte advindos de incêndios, são causados de forma intencional. Na Figura 12, observou-se algumas causas presumidas de incêndios em vegetação, como exemplo a renovação de pastagem e queima para cultivo, comentados acima.

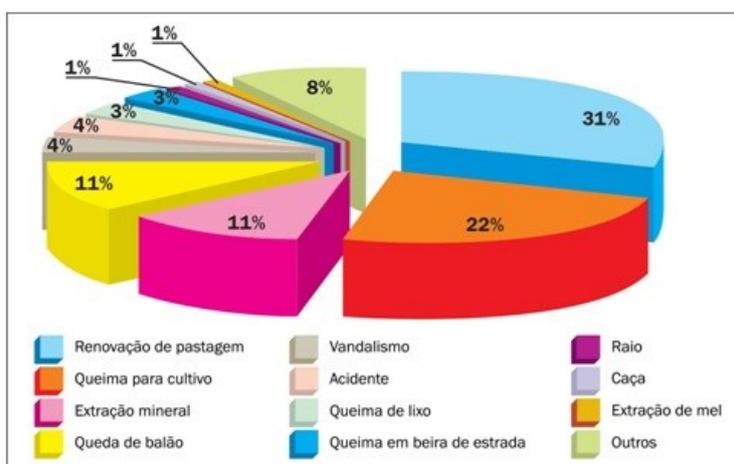


Figura 12 - Causas dos incêndios em vegetação.

Fonte: Blogspot, 2017.

Devido ao exacerbado número de focos de calor na classe de agropecuária, expandiu-se suas subdivisões, de modo a analisar qual tipo de ocupação é mais suscetível ao fogo. Sendo assim, através da Tabela 10, constatou-se que locais onde há pastagem e cana apresentaram maior porcentagem de focos de calor, 35,5% e 33%, respectivamente. Ao contrário de regiões com presença de lavouras perenes e temporárias, onde situações envolvendo calor são menos recorrentes.

Tabela 10 - Número de focos de calor na subdivisão da agropecuária.

Classe	Focos de Calor	Porcentagem (%)
Cana	311	33,0
Soja	102	10,8
Pastagem	334	35,5
Mosaico de Agricultura e Pastagem	131	13,9
Lavoura Perene	3	0,3
Outras lavouras Temporárias	61	6,5
Total	942	100

Fonte: BDQueimadas (adaptado pelo autor), 2021.

Ainda em relação às subdivisões da agropecuária, outra análise realizada foi a de sua distribuição espacial, contrapondo os anos de 2010 e 2019 (FIGURA 13). Dessa forma, verificou-se que houve um aumento expressivo nas culturas de cana-de-açúcar, 465km² à mais comparado com o ano de 2010. Em seguida detectou-se um avanço na produção de soja no município, acompanhado das lavouras perenes praticamente inexistentes em 2010. Em relação à pastagem e lavouras temporárias, ambas sofreram uma redução de 429,9 km² e 242,5km², nessa ordem, em sua extensão (TABELA 11).

Tabela 11 - Comparação de áreas entre as subdivisões da classe agropecuária para os anos de 2010 e 2019.

Classe	Área (km²) 2010	Área (km²) 2019	Modificação (km²)	Modificação (%)
Cana	606,15	1.071,11	465,0	76,7
Soja	412,10	612,94	200,8	48,7
Pastagem	1.784,36	1.354,45	-429,9	-24,1
Mosaico de Agricultura e Pastagem	229,21	218,80	-10,4	-4,5
Lavoura Perene	1,22	14,27	13,1	1074,5
Outras lavouras Temporárias	422,67	180,17	-242,5	-57,4
Total	3.455,68	3.451,74	-	-

Fonte: MapBiomias (adaptado pelo autor), 2020.

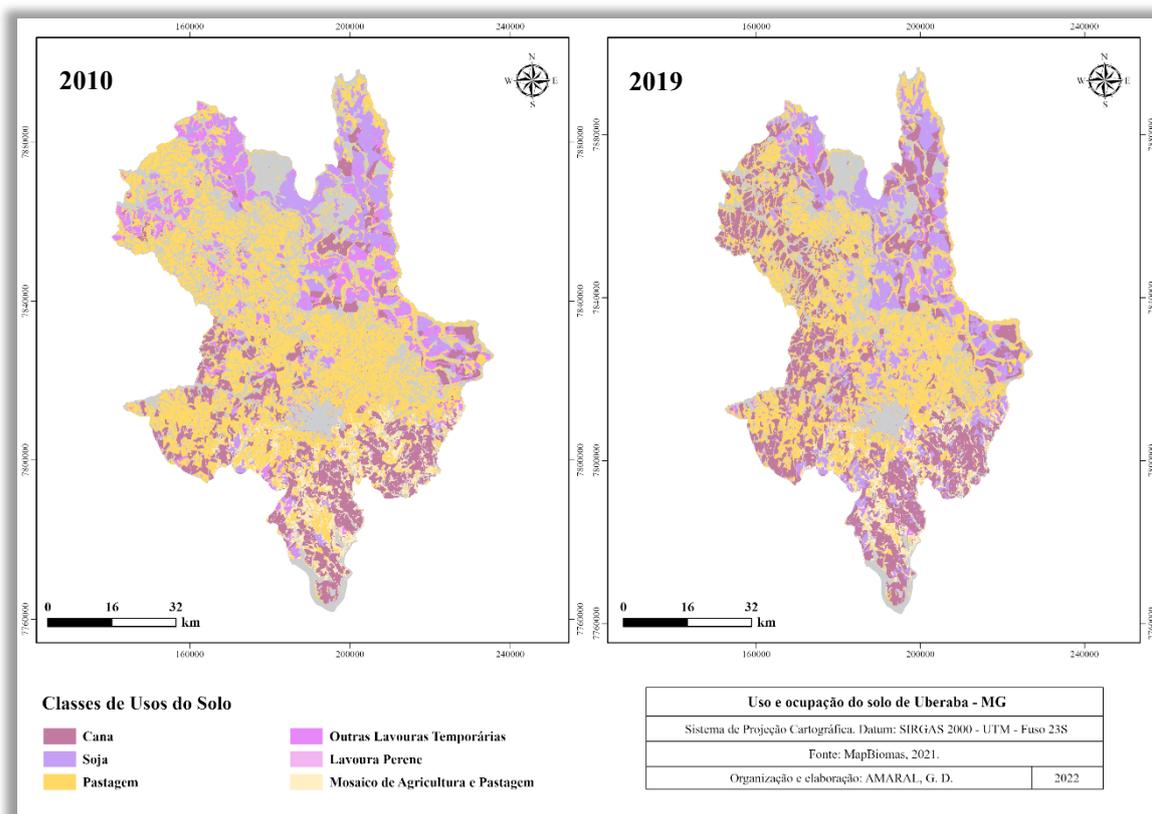


Figura 13 - Mapa comparativo entre as subdivisões da classe agropecuária para os anos de 2010 e 2019.

Fonte: autor, 2022.

Essas considerações são fundamentadas através da expansão do agronegócio canavieiro na região. Para Santos (2017), Uberaba sofreu um acelerado desenvolvimento da lavoura canvieira, resultado da instalação de duas unidades agroindustriais sucroenergéticas (UAS), a Usina Uberaba e a Vale do Tijuco. Além das outras três indústrias localizadas em municípios adjacentes, acarretando forte impacto no uso das terras e na produção agrícola.

Devido à disseminação do agronegócio, a cana-de-açúcar é a segunda principal cultura agrícola do município, atrás somente da soja. Em consequência ao crescimento do setor sucroenergético, houve reflexos nos números de exportação, efetivando o açúcar e o etanol como dominantes nos valores de transações (UBERABA, 2009).

Percebeu-se também, um significativo acréscimo na produção de soja comparado a 2010. Isso se deu, de acordo com Santos (2018), devido à financeirização dos agentes produtivos responsáveis por desenvolver boa parte do custeio, investimento e comercialização com recursos fornecidos pelo governo federal e estadual. Recursos esses, fundamentais para a modernização dos sistemas agrícolas e sua consequente expansão.

Apesar da redução territorial de pastagens, o município é reconhecido pela sua pecuária bovina moderna, devido à sua excelência no desenvolvimento de material genético, seleção e melhoramento de espécies. No entanto, infere-se que o refreamento na produção bovina se deu devido à investimentos a *commodities* de grãos e cana-de-açúcar em decorrência de sua maior rentabilidade atualmente.

Dito isso pode-se inferir, portanto, que os focos calor são influenciados de acordo com o uso do solo, concentrando maior incidência em regiões agropecuárias, sendo elas: pastagens, plantio de cana-de-açúcar e soja.

5. CONSIDERAÇÃO FINAL

Esta pesquisa propôs analisar os focos de calor no município de Uberaba, Minas Gerais, através de ferramentas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, no aspecto do uso e ocupação do solo, nos períodos de 2010 a 2021, verificando sua densidade de acordo com o déficit hídrico, baixa humidade e alta temperatura.

Dito isso, o estudo apresentou resultados condizentes com os objetivos propostos, tendo em vista que os focos de calor identificados nos períodos de 2010 a 2021, sendo os meses de agosto e setembro, tiveram aumento de aproximadamente 61% e 170%, comparados ao mês de julho, sendo esses influenciados pela falta de chuva, temperaturas intensas e concentra sua maior incidência em regiões agropecuárias, como plantio de cana-de-açúcar, soja e pastagens.

Os dados disponibilizados através das plataformas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, foram cruciais para o desenvolvimento da pesquisa e apresentaram respostas satisfatórias quanto à facilidade de acesso ao banco de informações. A partir desses dados, especializou-se os focos de calor, sendo possível definir frequência, período, local e intensidade.

As geotecnologias mostraram-se uma ferramenta prática e confiável, o auxílio dos *softwares* ArcGis e QGIS, juntamente com seus respectivos instrumentos de junção, combinação, recorte, cálculos e mapas temáticos, contribuíram para determinar de forma confiável todas as análises apresentadas.

O estimador de densidade de *Kernel*, usado na análise do comportamento espacial dos focos de calor, foi de suma importância para pesquisa. A partir de sua aplicação obteve-se informações qualitativas quanto à densidade e distribuição dos focos dentro dos limites

do município. Com isso, foi possível determinar regiões expressivas à incêndios. No entanto, sugere-se para trabalhos futuros uma abordagem sobre a influência dos focos de calor quanto à qualidade do ar.

Por fim, enfatiza-se que os dados de focos de calor são indicadores de queimadas, apesar de representar aspectos da distribuição espacial e temporal, eles não são capazes de fornecer informações diretas sobre a extensão da área atingida. Portanto, o monitoramento e mapeamento de eventos de fogo, em regiões críticas, se faz necessário visando o correto manejo de potenciais elementos inflamáveis de modo a prevenir incêndios.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, 464f.
- ANUALPEC. **Anuário Estatístico da Agricultura e Pecuária**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2012.
- ASCOM, Ibama. **Ibama e Inpe lança monitoramento de queimadas em tempo real**. 2014. Disponível em <https://portogente.com.br/noticias/meio-ambiente/83985-ibama-e-impe-lanca-monitoramento-de-queimadas-em-tempo-real>. Acesso em: 16 fev. 2022.
- BATISTA, A. **Estadística de incendios forestales em las Unidades de Conservación Federales del Brasil: período 2000-2004**. Curitiba: UFPR, 2005.
- BERGAMASCHI, R. B. **SIG aplicado a segurança no trânsito – estudo de caso no município de Vitória – ES**. 74 f. (Monografia de Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo: Vitória, 2010.
- BLOGSPOT. 2017. Incêndios Florestais e suas consequências. Disponível em <http://dcsp2013.blogspot.com/2017/08/incendios-florestais-e-suas.html>. Acesso em 9 mar. 2022.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988, DOU,5.10.1988
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cadeia produtiva da carne bovina. Brasília: MAPA / Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, 2007. (série agronegócios, v. 8). Disponível em <http://www.iica.org.br/Docs/CadeiasProdutivas/Cadeia%20Produtiva%20da%20Carne%20Bovina%20c%20capa.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade do Cerrado e Pantanal**. Brasília, 1999.
- Brasil. SEPLAN (Secretaria de Planejamento da Presidência da República). **II Plano Nacional de Desenvolvimento (1975-79)**. Sugestões Literárias S.A., 1975.
- BRASIL. Tribunal Regional Federal (1ª Região). Apelação Cível n. 2007.01.00.006961-5/RR, relator desembargador federal Souza Prudente, 6ª Turma; e-DJF1, 27.4.2009, p. 274.
- BRITO, J L S; REIS, L N G. Mapeamento das áreas de conversão do uso da terra para cana-de-açúcar na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG por meio de imagens TM/LANDSAT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 13, n. 41 mar/2012 pp. 170–186. Disponível em <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16522>. Acesso em 25 fev. 2022.

- BUI, D. T.; VAN LE, H.; HOANG, N. GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. **Ecological Informatics**, [s.l.], v. 48, p.104-116, 2018.
- CAETANO, M.; PEREIRA, M.; CARRÃO, H.; ARAÚJO, A.; NUNES, A.; NUNES, V. **Cartografia Temática de Ocupação / Uso do Solo**. Lisboa, Instituto Geográfico Português, 23 p, 2008.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.
- CARDOSO, E. L. et al. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 747-752, jun. 2003.
- CARVALHO, F.M.V.; DE MARCO, P.; FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, n.7, p.1392-1403, 2009.
- CARVALHO, J. O. A; GUIMARÃES, R. F; CARVALHO, A. P. F; GOMES, R. A. T; MELO, A. F; SILVA. P. A. **Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gorutuba/MG**. In: *Actas XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*. Goiânia, Brasil, 16 a 21 de abril de 2005.
- CLIMATE DATA. **Temperaturas e Precipitações médias em Uberaba**. Disponível em <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/uberaba-2878/>. Acesso em 8 fev 2022.
- COCHRANE, M. A. **Tropical Fire Ecology: Climate change, Land use and Ecosystem Dynamics**. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2009.
- COUTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 44, p. 7-23, 1980.
- COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: as queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo subarbustivo. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 57-64, 1977.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 20, n. 1, 2006.
- DEEP, F.; PAULA, E. V.; FIRESIG – sistema de suporte a toma de decisão para combate a incêndios no Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.2, p.157-162, maio/ago. 2004.
- DONG, X. et al. Study on Urban Fire Station Planning based on Fire Risk. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FIRE SCIENCE AND FIRE PROTECTION ENGINEERING, 8., 2017, China. **Procedia Engineering**. Hefei: Elsevier, 2018. v. 211, p. 124-130, 2017.
- FACCO, D. S; BENEDETTI, A. C. A evolução temporal do uso e ocupação da terra em municípios da Quarta Colônia de Imigração Italiana – RS. **Ciência e Natura**, [S./l.], v. 38, n. 3, p. 1254-1264, 2016.

- FIPCERRADO. **Projeto Monitoramento Cerrado**. Disponível em <https://csr.ufmg.br/fipcerrado/>. Acesso em 8 fev 2022.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- FREITAS, R. F. **Diversidade e sazonalidade de abelhas Euglossini Latreille (Hymenoptera:apidae) em fitofisionomias do bioma cerrado em Uberlândia, MG**. Uberlândia, 2009. 65f. Tese (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais). Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2009.
- GOMES DE SOUZA, A.; CLEPS JUNIOR, J. Expansão da cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e os efeitos sobre a agricultura familiar e o trabalho rural. **Revista Tópos**. Presidente Prudente, v. 3, n. 2, p. 8 – 35, 2009. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/view/2235/0>. Acesso em 25 fev. 2022.
- GONTIJO, G. A. B.; ALLAN A. P.; EVERTON D. S. O.; FAUSTO W. A. J. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, p. 7966.
- GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Populacional por municípios: censos anteriores, censo 2020 e projeções futuras**. IBGE, 2020.
- IBGE. 2021. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em 9 jan 2022.
- IBGE. **Divisão regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões**. V.1. Rio de Janeiro. 1990. 137p.
- INMET. 2021. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 28 fev. 2022.
- INPE. 2021. **Programa de Monitoramento de Queimadas**. Disponível em <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 28 fev. 2022
- INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). 2021. Gleissolos. Disponível em <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Gleissolos.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- KAWAMOTO, M. T. **Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro–SP**. 69 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu: Botucatu, SP, 2012.
- KER, J.C.M. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, n.1, p. 17-40. 1997.
- MAPBIOMAS. 2017. **Coleção de Séries de Mapas de Uso e Cobertura do Solo Brasileiro** (<http://mapbiomas.org/>). Acesso em 25 fev. 2022.
- MAPBIOMAS. 2020. **Coleção de Séries de Mapas de Uso e Cobertura do Solo Brasileiro**. Disponível em <http://mapbiomas.org/>. Acesso em 25 fev. 2022.

- MAPBIOMAS. 2020. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 28 fev. 2022.
- MAY, G. C; REIS, J. T. C. Análise das alterações do uso e cobertura do solo no município de Centenário - RS com o auxílio do Sensoriamento Remoto, no período de 1995-2014. **Ciência e Natura**, [S.l.], v. 38, n. 3, p. 1228-1237, 2016.
- MELO, A. J. de S; ALVES, H. R. C.; FILHO, W. S. P. **Deteção de queimadas e realização de mapas de calor utilizando produtos de sensoriamento remoto, e técnicas de geoprocessamento da região nordeste do Pará**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 09, Vol. 10, p. 114-142 set. 2018.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1. 266 p.
- MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. **Expansão da fronteira agrícola e uso do espaço no estado de Goiás: subsídio à política ambiental**. In: Ferreira Júnior, Laerte Guimarães Ferreira. (org). A encruzilhada socioambiental. Goiânia: 2008.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Apresentação do Mapa de Cobertura Vegetal do IBGE**. Brasília, 21 maio 2004. Disponível em https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf. Acesso em: 2 fev. 2022.
- MORAES, L. A. F. de; SANTOS, R. L. C. dos; SOBRAL, L. G. S. Metodologia de Aplicação do Geoprocessamento na Avaliação da Contaminação por Metal Pesado em Solo: Estudo de Caso em área Confinada de Indústria. **Série Gestão e Planejamento Ambiental**: coleção artigos técnicos nº 4, Rio de Janeiro, n. 7, p. 9-32, 2006. Disponível em <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/385/1/sgpa-7.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- MUELLER, C. C.; MARTHA JÚNIOR, G. B. A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado. In: Faleiro. F. G.; Farias Neto, A. L. (Org) Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. **Planaltina**: Embrapa Cerrados, 2008. cap. 4, p. 105 – 172. Disponível em http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Savanas. Acesso em: 2 fev. 2022.
- PANTALEÃO JÚNIOR, C. M.; FERREIRA, R. V. Avaliação do desempenho do índice ANBR para a identificação de áreas incendiadas na microrregião de Uberaba, MG. **Brasilian Geographical Journal**. Ituiutaba, v. 11, n. 2, p. 159 – 169, 2020.
- PARDO, D. W. de A. Direito e sociedade na Amazônia: sobre a proibição legal do uso do fogo em atividades econômicas agropastoris. **Revista Direito GV**, São Paulo, p. 427-454, 2012.
- PAZ, S. et al. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 262, n. 7, p.1184-1188, 2011.
- PENA, F. F. **Incêndios florestais na comarca de Uberaba nos anos de 2017 e 2018: aspectos legais e da distribuição espacial**. Uberaba, 2019. 47f. Tese (Mestrado em

- Ciência e Tecnologia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.
- PEREIRA, A. A. et al. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Revista Cerne**, Lavras, v.18, n.2, p. 1-10, 2012.
- PEREIRA, A. A.; PEREIRA L. C.; VALADARES, R. Monitoramento dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4535-4540.
- PEREIRA, Alfredo; FRANÇA, Helena; DOS SANTOS, José Eduardo. Método para avaliação da susceptibilidade da vegetação do cerrado ao fogo em relação a indicadores antrópicos. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, 2003. Disponível em http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.22.03/doc/04_427.pdf. Acesso em: 6 ago. 2019.
- PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS N. Remote sensing of burned areas: a review. In: CHUVIECO, E.; Ed. **A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires**. Alcalá de Henares. 1997. p. 127-183.
- PHULPIN, T.; LAVENU, F.; BELLAN, M. F.; MOUGENOT, B.; BLASCO, F. Using SPOT-4 HRVIR and vegetation sensors to assess impact of tropical Forest fires in Roraima, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 23, n. 10, p.1943-1966, Oct. 2002.
- RAMOS, P. C. M. Sistema nacional de prevenção e combate a incêndios florestais. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1., 1995, Piracicaba, **Anais...**, Piracicaba, IPEF, 1995. p. 29-58.
- REDIN, M. et al. Impactos da queima de atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Cinco Continentes, 2008. p. 359-417.
- REZENDE, A. V. Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. In: RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado mata de galeria**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, 15f.
- 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. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, p. 89-166.
- RIZZATTI, M. et al. Mapeamento da covid-19 por meio da Densidade de *Kernel*. **Metodologias e Aprendizado**, v.3, p. 44 – 53, 2020.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, 5ª ed., Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
- SANO, E. E. et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment (Print)**, v. 166, p. 113-124, 2010.

- SANTOS, H. F. A Dinâmica do agronegócio e a consolidação de uma agricultura científica globalizada no município de Uberaba (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 200-218, 2018.
- SANTOS, H. F. dos. Expansão do agronegócio canavieiro e implicações socioambientais no município de Uberaba (MG). **Revista Pegada**, v. 18, n. 2, p. 112-146, 2017.
- SIBGRAPI, 5., 1992, Rio de Janeiro. **Anais do SIBGRAPI V**. Rio de Janeiro: Ibm Brasil, 1992. 9 p. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/Marco_Casanova/publication/47446268_Spring_Processamento_de_Imagens_e_Dados_Georeferenciados/links/567ee94c08ae051f9ae66cd2.pdf. Acesso em: 12 fev. 2022.
- SILVA, E. B. da. **A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso do solo no bioma Cerrado**. Goiânia. UFG, 2013.
- SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S. da F.; ANGELO, M. F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 6969.
- SOARES, D. de O. **Análise de mapeamento de uso e ocupação do solo, entre as metodologias do TerraClass Cerrado 2013 e Corine Land Cover 2018, para o município de Cristalina-Goiás, Brasil**. Lisboa, 2019. 84f. Tese (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.
- SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 219-225, 2002.
- SOUZA JR, C.M.; ROBERTS, D.A.; COCHRANE, M.A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, 98: 329–343, 2005.
- THACH, N. N. et al. Spatial pattern assessment of tropical forest fire danger at Thuan Chau area (Vietnam) using GIS-based advanced machine learning algorithms: A comparative study. **Ecological Informatics**, [s.l.], v. 46, p.74-85, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.05.009>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- UBERABA. **Uberaba em Dados**. Ano Base 2008. Uberaba: Prefeitura Municipal de Uberaba, 2009. Disponível em www.uberaba.mg.gov.br. Acesso em: 9 mar. 2022.
- VAEZA, R. F; OLIVEIRA, F. P. C; DISPERATI, A. A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. **Floresta e Ambiente**, [S./l.], v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.
- VALLE JUNIOR, Renato Farias do et al. DETERMINATION OF PERMANENT PRESERVATION AREAS IN THE UBERABA RIVER BASIN BY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS). **Global Science And Technology (issn 1984 - 3801)**, Goiânia, v. 3, n. 1, p.19-29, 12 mar. 2010. Disponível em <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/93/145>. Acesso em: 23 fev. 2022.

- WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016.
- WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for Eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.
- XAUD, M.R.; SILVA, G. F.N.; XAUD, H. A. M.; BARBOSA, R. J.; ESBELL, D.; COSTA, V. P. Monitoramento de queimadas e incêndios florestais em Roraima: informações orbitais e locais subsidiando tomadas de decisão. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2003. p. 533-534.

6. ANEXOS

6.1 Códigos das classes da legenda e paleta de cores – Mapbiomas – Coleção 5



Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 5 do MapBiomas

COLEÇÃO 5 - PORTUGUÊS	COLLECTION 5 - ENGLISH	ID	Número da cor
1. Floresta	1. Forest	1	129912
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2	1F4423
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3	006400
1.1.2. Formação Savânica	1.1.2. Savanna Formation	4	32CD32
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5	687537
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9	935132
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10	BBFCAC
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	45C2A5
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland Formation	12	B8AF4F
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32	968c46
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#FF8C00
2.5. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13	BDB76B
3. Agropecuária	3. Farming	14	FFFFB2
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	FFD966
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	E974ED
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	D5A6BD
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	c59ff4
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	C27BA0
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.3. Other Temporary Crops	41	e787f8
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	f3b4f1
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21	FFFC3
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	EA9999
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23	DD7E6B
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24	af2a2a
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	8A2BE2
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	FF99FF
5. Corpo D'água	5. Water	26	0000FF
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	0000FF
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	29EEE4
6. Não observado	6. Non Observed	27	D5D5E5

Figura 14 - Códigos das legendas para os mapas de uso e ocupação do solo.

Fonte: MapBiomas, 2021.