



LARA LOPES DE PAIVA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO
CERRADO MINEIRO DE 2013 A 2020**

**LAVRAS-MG
2021**

LARA LOPES DE PAIVA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO
CERRADO MINEIRO DE 2013 A 2020**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

Matheus Coutinho Freitas de Oliveira

Coorientador

**LAVRAS-MG
2021**

LARA LOPES DE PAIVA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO
CERRADO MINEIRO DE 2013 A 2020
SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF FIRES IN THE
CERRADO OF MINAS GERAIS FROM 2013 TO 2020**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em ____ de _____ de 2021.

Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior UFLA

Me. Carolina Costa Rodrigues UFLA

Me. Juliana Maria Ferreira de Souza Diniz INPE

Dr. Renata Dias Françoso Brandão

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

Matheus Coutinho Freitas de Oliveira

Coorientador

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTO

Apresento esta pesquisa com grande satisfação, pois consigo ver neste trabalho um potencial transformador e é esta característica que eu busquei ao escolher o caminho da ciência, tecnologia e educação. Sou grata pela oportunidade de desenvolver um trabalho no qual me realizo em meus princípios de justiça social e ambiental, princípios estes que são base para todas as minhas escolhas.

Agradeço pela oportunidade de estudar em uma universidade pública e gratuita, onde pude me formar mais que como engenheira florestal, como um ser humano com princípios éticos e de responsabilidade social. Agradeço a todo o povo brasileiro que além de pagar os impostos para que eu possa estar aqui, também me constituem e me revigoram a todo momento com sua demonstração de força e determinação na manutenção da esperança. Agradeço às pessoas com as quais troquei conhecimentos nos caminhos que percorri em minha formação. Agradeço à natureza. Observando a natureza, nela estando e ela sendo, consegui compreender a vida para além das faculdades do intelecto.

Agradeço em especial aos meus familiares que sempre apoiaram minha autonomia e liberdade, eles são a base do que sou, ao meu orientador que em momentos que até eu descreditei de mim confiou em meu potencial e ao meu coorientador que tanto me ajudou nessa pesquisa. Agradeço aos colegas e professores de curso, aos companheiros de movimentos social e estudantil, principalmente da ABEEF, da UJC, do MUP e do CA, ao NEUC, ao Laboratório de Geoprocessamento do LEMAF e aos demais grupos que agreguei durante a graduação.

Agradeço a todas as pessoas que dividiram o lar comigo durante o período de graduação em Lavras, no Recife e em Jacumã e aos amigos mais próximos que estiveram presentes de forma ativa em tantos processos.

Como a liberdade é uma luta constante e que só se faz em comunhão farei o que estiver ao meu alcance para contribuir na construção de um mundo mais justo, para que os seres humanos e a natureza possam ser livres. Carrego em mim todos os sonhos do mundo e energia suficiente para colocá-los em prática.

“O meio técnico é a realidade com a qual nos defrontamos e, por isso, é preciso estudá-lo com todos os recursos do conhecimento e tentar dominá-lo e humanizá-lo.”
- Milton Santos, adaptado de Georges Friedmann

RESUMO

O Cerrado apresenta a maior biodiversidade dentre as savanas neotropicais e exerce papel central na dinâmica hidrológica continental. O fogo é um fenômeno que ocorre naturalmente no Cerrado, cuja vegetação possui adaptações evolutivas à sua ocorrência. No entanto nota-se uma mudança de origem antrópica no regime do fogo, que agora acontece com maior frequência nas épocas secas, em áreas de maior extensão e com maior concentração em regiões específicas. Neste trabalho realizou-se uma análise temporal e espacial das queimadas de 2013 a 2020 no Cerrado mineiro, através do sensoriamento remoto e suas ferramentas. Os resultados mostraram que há maior incidência de queimadas no trimestre compreendido entre agosto e outubro, tanto nos locais ocupados pela agropecuária quanto nas áreas de vegetação natural. Também foi observado que os anos de maior e menor área queimada foram 2014 e 2018, respectivamente. As queimadas ocorreram com maior densidade nas áreas ocupadas pela agropecuária, seguidas pelas áreas ocupadas por florestas e por vegetação natural não florestal. Esse estudo fornece informações que podem servir de base para outros estudos acerca do assunto, bem como para planos de gestão do fogo.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Análise espacial; Análise temporal; gestão do fogo; uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

The Cerrado has the largest biodiversity among the Neotropical savannas and plays a central role in continental hydrological dynamics. Fire is a natural phenomenon of the Cerrado, whose vegetation has evolutionary adaptations to its occurrence. However, there is a remarkable anthropogenic change in the fire regime, which now occurs more frequently during dry seasons, over larger areas and with greater concentration in specific regions. In this work, a temporal and spatial analysis of fires from 2013 to 2020 in the mining Cerrado was performed using remote sensing and its instruments. The results showed that there is a higher incidence of fires in the quarter between August and October, both in places occupied by agriculture and livestock, and in areas of natural vegetation. It was also observed that the years with the largest and smallest burned area were 2014 and 2018, respectively. Burning occurred with the highest density in areas occupied by agriculture and livestock, followed by areas occupied by forests and non-forest natural vegetation. This study provides information that can serve as a basis for other studies on the subject, as well as for fire management.

Keywords: Geoprocessing; spatial analysis; temporal analysis; fire management; land use and occupation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.	OBJETIVOS.....	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1	O Cerrado.....	10
3.2	O fogo no Cerrado.....	11
3.3	Ocupação do solo no Cerrado.....	12
3.4	Sensoriamento remoto na detecção de queimadas.....	13
3.5	Sensor MODIS.....	14
3.6	Produto MODIS AQ 1KM.....	15
3.7	Google Earth Engine.....	16
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1	Área de estudo.....	17
4.2	Base de dados.....	18
4.2.1	Queimadas.....	18
4.2.2	Uso e cobertura do solo.....	18
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1	Caracterização temporal.....	21
5.2	Caracterização espacial.....	23
5.3	Cobertura vegetal afetada pelo fogo.....	24
6.	CONCLUSÃO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado está no ranking dos 25 *hotspots* mundiais, devido a sua rica biodiversidade com elevada proporção de plantas endêmicas e também ao seu alto nível de degradação (FRANÇOSO et al., 2015). É o segundo maior bioma do Brasil e exerce papel central na dinâmica hidrológica continental (LEWINSOHN; PRADO, 2005), no entanto passa, desde a década de 1970, por um período crítico em relação a ocupação do solo com a intensa pressão da expansão da agropecuária sobre os ecossistemas naturais (STRASSBURG et al., 2017).

O fogo é uma característica determinante da vegetação do Cerrado (SIMON et al., 2009), que possui adaptações evolutivas à sua ocorrência de forma natural (PAUSAS, 2015). Porém, ações antrópicas tem mudado o regime natural do fogo, que é definido especialmente pela época e frequência das queimadas (MIRANDA, 2010). Essas modificações geram consequências para a estrutura e composição da vegetação, alterando assim a fitofisionomia do Cerrado, de forma a favorecer a ocorrência de incêndios florestais mais intensos e frequentes (MIRANDA; BUSTAMANTE; MIRANDA, 2002).

Visto que eventos de fogo são fontes significativas de emissões de gases de efeito estufa e sua recorrência pode trazer drásticas consequências ao microclima local, à diversidade ecológica, ao equilíbrio ecossistêmico e à saúde humana, faz-se necessária a avaliação da ocorrência de fogo no Cerrado no que diz respeito à sua época, frequência e localização.

Neste sentido, têm-se empregado o sensoriamento remoto com frequência no mapeamento de queimadas, visto que possibilita a coleta de informações de maneira remota, sobre áreas extensas e de difícil acesso (GONTIJO et al., 2011). O sensoriamento remoto tem se destacado na geração de informações sobre a ocorrência de incêndios florestais em escalas espacial e temporal, de forma rápida e econômica (OLIVA; MARTÍN; CHUVIECO, 2011) e é base para o planejamento e monitoramento de estratégias de prevenção e controle de incêndios (PIROMAL et al., 2008). Dada a necessidade de compreender a dinâmica do fogo, o presente estudo tem como objetivo traçar um perfil espaço-temporal das queimadas no cerrado de Minas Gerais, no período compreendido entre janeiro de 2013 e dezembro de 2020, e pode servir de base para a elaboração de planos gestão do fogo, bem como de outras pesquisas na área.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é analisar a dinâmica espacial e temporal das queimadas no Cerrado de Minas Gerais entre janeiro de 2013 e dezembro de 2020.

2.2 Objetivos específicos

- a) Quantificar a área e o número de polígonos de queimada, anualmente e mensalmente;
- b) Analisar a conformação espacial das queimadas;
- c) Ponderar sobre a correlação entre queimadas e o uso e cobertura do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cerrado

O Cerrado é o segundo maior domínio fitogeográfico brasileiro, ultrapassado em área apenas pela Amazônia. Ocorre no Brasil central e compreende cerca de 24% do território nacional, com aproximadamente 204 milhões de hectares (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). O Cerrado é considerado a savana tropical com maior biodiversidade do mundo, composto por um conjunto de ecossistemas, sendo eles: savanas, matas, campos e matas de galerias (EITEN, 1977; RIBEIRO; SANO; DA SILVA, 1981). É também onde se encontram as nascentes de oito das doze bacias hidrográficas mais importantes do país (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020).

O clima do domínio é estacional, cuja época chuvosa ocorre entre outubro e março, intercalada por um período de estiagem, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.394 mm, com variação entre 650 e 2.250 mm, e a temperatura média anual é de 23,7 °C, com mínima de 15,6 °C e máxima de 28,1 °C (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). As classes de solo mais expressivas são os Latossolos (44,1%) e os Neossolos Quartzarênicos (21,4%). Desta forma, a rica vegetação do Cerrado, que compreende árvores, arbustos, sub arbustos, plantas herbáceas e gramíneas (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008), desenvolveu-se sob solos antigos, intemperizados, pobres em nutrientes e ácidos, com alto teor de alumínio (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020)

Tais características, no entanto, não constituem obstáculo para a implantação da agricultura moderna, marcada especialmente pelas grandes extensões de monoculturas de soja e pastagens plantadas. Para tornar os solos do Cerrado produtivos para fins agrícolas são aplicados neles fertilizantes e calcário (KLINK; MACHADO, 2005). A área antropizada do Cerrado, que engloba pastagens plantadas, culturas agrícolas, silvicultura, mineração, áreas urbanas e solo exposto, corresponde a 43,6% da extensão total do domínio (SCARAMUZZA et al., 2017). Destas, as pastagens plantadas correspondem à classe de cobertura de solo de maior extensão, com cerca de 60 milhões de hectares, ou seja, 29% da área total, ou 66,5% da área antropizada, do Cerrado (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020)

Verifica-se então que Cerrado é bastante heterogêneo, tanto em relação ao uso e ocupação do solo, quanto em termos de suas características biofísicas. Observa-se também que parte do domínio já foi convertida em algum tipo de uso antrópico, especialmente os relacionados à agropecuária. Ademais, a proteção e conservação da biodiversidade do Cerrado é relativamente frágil, o novo Código Florestal Brasileiro (2012) exige às propriedades a conservação de apenas 20% da vegetação nativa, sendo 30% caso a propriedade esteja localizada na Amazônia Legal e há

uma pequena extensão de área protegida na forma de unidades de conservação se comparada, por exemplo, à Amazônia.

3.2 O Fogo no Cerrado

A vegetação do Cerrado possui estruturas fisiológicas e morfológicas que conferem resiliência e adaptação ao fogo, tais como: cortiça espessa do caule, estoque de carboidratos em órgãos subterrâneos e sementes cuja quebra de dormência e dispersão são induzidas pela ação do fogo (PAUSAS, 2015). O aumento do intervalo entre queimadas resulta no adensamento do estrato lenhoso e acúmulo da biomassa fina ao longo do tempo, modificando a composição e a estrutura da vegetação (ROSAN et al., 2019). O fogo, desta forma, é agente constituinte do Cerrado e assim ocorre naturalmente ou por ação antrópica.

No que diz respeito a ação antrópica, há registros de ocupação humana no Cerrado de cerca de 12 mil anos atrás (BARBOSA; SCHMITZ, 2008) por povos indígenas que utilizavam o fogo para cozimento, caça, iluminação, limpeza de terrenos para agricultura, rituais, aquecimento entre outros usos, posteriormente estes conhecimentos acerca do fogo foram passados para os sertanejos e outros povos que habitaram e habitam o Cerrado (FIDELIS; PIVELLO, 2011). No entanto, a partir da década de 1970 a utilização do fogo por ação antrópica ganhou maior proporção, a partir da instauração de programas governamentais de incentivo e financiamento ao desenvolvimento agrícola no Cerrado. Desta forma, apesar do fogo ter papel essencial na cultura, na estrutura e na dinâmica da vegetação do Cerrado, a ação antrópica a partir de então tem modificado drasticamente seu regime natural (PRICHARD; STEVENS-RUMANN; HESSBURG, 2017).

O regime do fogo é definido principalmente pela sazonalidade e pela frequência das queimas (MIRANDA, 2010). No que diz respeito à sazonalidade, o fogo natural no cerrado acontece majoritariamente pela ação de raios no início da estação chuvosa (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000), porém, a atividade humana tem transfigurado a época das queimadas, sendo agora mais constantes no período de estiagem. Quanto à frequência, estudos sugerem que queimadas ocorrem naturalmente de 3 a 9 anos e a recuperação de arbustos e árvores se dão neste intervalo (MIRANDA, 2010; RIOS; SOUSA-SILVA, 2017). A diminuição do intervalo de tempo entre queimadas pode afetar negativamente a vegetação lenhosa, aumentando sua mortalidade e reduzindo seu sucesso reprodutivo e além disso, eleva a emissão de gases do efeito estufa, afetando a temperatura global (PIVELLO, 2011) e causando assim desequilíbrio ambiental e severos períodos de seca.

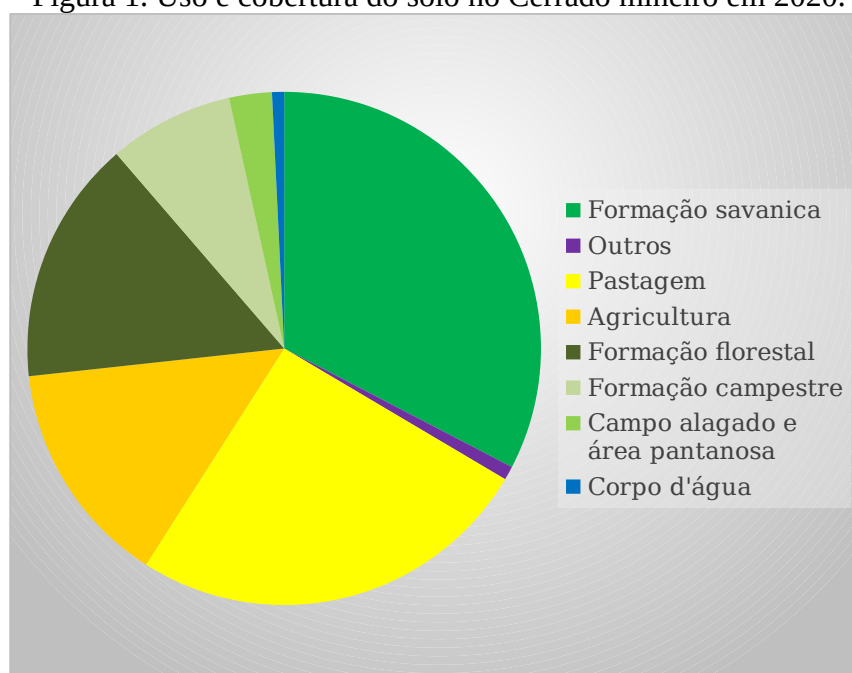
3.3 Ocupação do solo no Cerrado

Apesar da ocupação humana neste território ser antiga, a partir de 1970 observou-se uma intensificação na exploração do bioma (DUTRA; SOUZA, 2017). O avanço na exploração do Cerrado esta época foi promovido por iniciativa do Estado através de programas de financiamento e incentivo ao desenvolvimento rural, sendo os de maior impacto o POLOCENTRO (Programa Para o Desenvolvimento do Cerrado) e o PRODECER (Programa Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento do Cerrado) (SILVA, 2013).

Tais programas tinham o objetivo de constituir uma agricultura moderna, a partir da promoção de mudanças técnicas, políticas e socioculturais, criando condições para a produção agrícola em larga escala, a fim de sustentar um alto padrão de desenvolvimento industrial em um meio rural até então considerado atrasado (NIEDERLE; RADOMSKY, 2016). Desde então, o bioma sofre crescente pressão antrópica com relevantes mudanças no uso e cobertura do solo, a partir da expansão das fronteiras agrícolas que atua na conversão da vegetação natural em novas áreas destinadas a produção de carne e grãos para exportação

De acordo com Coleção 6.0 do Mapbiomas, atualmente 44,9% do bioma tem uso antrópico, sendo 36,9% destinado à agropecuária e 8% para outros usos. A vegetação nativa cobre 54,4% do Cerrado, compreendendo formações florestais, campestres e savânicas (Figura 1).

Figura 1. Uso e cobertura do solo no Cerrado mineiro em 2020.



Fonte: Coleção 6.0 do Mapbiomas, adaptado pelo autor (2021).

3.4 Sensoriamento remoto na detecção de queimadas

Sensoriamento Remoto é a ciência que desenvolve a obtenção de imagens da superfície global através da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com o objeto observado (MENESES; ALMEIDA, 2012). A medição e a detecção são feitas a distância, por meio de sensores que, acoplados a satélites ou aviões, captam a radiação eletromagnética emitida ou refletida dos materiais analisados. Estes materiais assumem diferentes respostas espectrais e assim possibilitam a diferenciação e a classificação das imagens (MARTINS, 2017; MENESES; ALMEIDA, 2012).

O monitoramento de queimadas por sensoriamento remoto tem sido desenvolvido desde a década de 1980, em que são desenvolvidas técnicas de quantificação de áreas queimadas em eventos de grande e pequena escala (SILVA; PESTANA; MARTINS, 2019; WANG; MIAO; PENG, 2012). A detecção de espectros de cicatriz de queimadas e fogo ativo captados pelos sensores tem se mostrado eficiente no monitoramento de incêndios. No entanto, estes dados podem ser afetados pela fumaça do fogo, pelas condições atmosféricas e pelo desgaste dos sensores, influenciando a acurácia das medições (YUAN; ZHANG; LIU, 2015). A fim de reduzir os efeitos adversos podem ser utilizados satélites e sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais.

Os métodos de processamento de imagens que são utilizados para a melhor visualização da resposta espectral do objeto analisado são os índices (SCHEPERS et al., 2014). Os índices e as bandas espectrais utilizados na detecção de queimadas variam de acordo com a localização e características do objeto analisado. Estudos indicam que os índices que apresentam bandas no espectro do infravermelho, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Área Foliar (IAF), o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) e o Índice de Queima Normalizada (NDBR), têm distinguido os pixels de queimadas com maior precisão (PEREIRA et al., 2015; PENHA, 2018)

Os satélites VEGETATION/SPOT e AVRHH/NOOA têm maior resolução temporal e desta forma a possibilidade de se obter imagens sem nuvens de uma área é maior, no entanto sua resolução espacial de 1km impossibilita o monitoramento de áreas pequenas. Já os satélites ASTER/TERRA, HS/SPOR e TM/Landsat têm maior resolução espacial permitindo a análise de áreas pequenas, porém tem menor resolução temporal, o que aumenta a possibilidade de obtenção de imagens com nuvens, todos os satélites citados englobam bandas espectrais na região do visível(VIS) e do infravermelho próximo (NIS). Intermediário a estes, que tem composição de VIS e NIS, têm-se os satélites MODIS/TERRA, MODIS/AQUA, WFI/CBERS e WiFS/IRS, que possuem uma resolução espacial moderada e uma resolução temporal alta.

3.5 Sensor MODIS

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) está acoplado aos satélites TERRA e AQUA, que fazem parte do projeto *Earth Observing System* (EOS), administrado pela NASA. O MODIS TERRA, utilizado neste trabalho, possui resolução espacial entre 250 e 1000 metros e resolução espectral de 36 faixas (Tabela 1) (ESQUERDO; ANTUNES; ANDRADE, 2011).

Tabela 1. Características gerais do sensor MODIS Terra

Órbita	705 km, sincronizado com o Sol. Descendente as 10:30h, ascendente às 13:30h
Cobertura espectral	2330 km, $\pm 55^\circ$ ("scans" contínuos no nadir no equador)
Bandas espectrais	36 bandas, entre 0,405 e 14,385 μ m Subsistemas de calibração integrados
Taxa de dados	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Resolução espacial	Bandas 1 e 2: 250m; Bandas 3 a 7: 500m Bandas 8 a 36: 1000m
Resolução radiométrica	12 bits
Ciclo de trabalho	100% eu tokk
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°

Fonte: Justice et al. (2002) adaptada pela autora.

Apesar de sua baixa resolução espacial, o sensor MODIS ainda se destaca devido à sua alta resolução temporal (Tabela 1), que permite observar mudanças nos elementos da paisagem diariamente ou a cada dois dias, possibilitando o monitoramento remoto sistematizado (SALGADO, 2019). A distribuição dos produtos MODIS é gratuita e as imagens são fornecidas com correções atmosférica e geométrica (JUSTICE et al., 2002). Por tanto, a partir destes produtos é possível realizar pesquisas em diversas áreas, como fenologia da vegetação (ABADE et al., 2015), mapeamento de áreas inundadas (CHEN et al., 2015), dinâmica do fogo (ARTAXO et al., 2013), entre outros.

Os produtos dos satélites TERRA são denominados MODxx e do satélite AQUA MYDxx. Além destes, outros produtos (MCDxx) compostos podem ser formados por sensores dos dois satélites (MATOS; CANDEIAS, 2009). Para a detecção de áreas queimadas existem os produtos MCD45A1 e MCD64A1, que compreendem reflectâncias relacionadas à queima da biomassa e um algoritmo híbrido que capta a reflectância de focos ativos, respectivamente (GIGLIO et al., 2018). Daremos ênfase aqui a detecção de queimadas de produtos do algoritmo C6 MCD64A1, da coleção 6 do sensor MODIS, utilizada nesta pesquisa, que compreende imagens formadas a partir das mudanças persistentes em índices de vegetação sensíveis a queimadas. Estas são comparadas com dados de fogo ativo a fim de definir quais são as mudanças relacionadas a queimadas, esse algoritmo tem melhoria em relação às versões mais antigas no que se refere à resolução temporal, com identificação das áreas queimadas até dois dias após a detecção do fogo ativo, e à resolução espacial, de 1km de distância, que permite a identificação de queimadas menos extensas (GIGLIO et al., 2018)

3.6 Produto MODIS AQ1KM

O método queimada AQM MODIS 1KM considera características de solo, vegetação e clima, e utiliza as bandas do infravermelho médio (MIR - canal 20 do sensor MODIS) e do infravermelho próximo (NIR - canal 2 do sensor MODIS) (LIBONATI et al., 2015). Além dos valores de reflectância no infravermelho médio e próximo, dados de temperatura de brilho no infravermelho (TIR) e informações acerca dos ângulos zênite solar, de máscara terra/mar e de visão também são utilizados para o algoritmo do produto MODIS AQ1KM (LIBONATI et al., 2015).

Fornecido pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o produto AQ é o mais novo na detecção de queimadas do sensor MODIS e consiste na otimização dos produtos MCD45A1 e MCD64A1. Com sua alta resolução temporal é possível reduzir problemas relacionados à variação da reflectância diária, resíduos atmosféricos e nuvens, aumentando a qualidade da detecção de queimadas (LIBONATI et al., 2015).

O Produto AQ1Km foi desenvolvido pelo INPE em parceria com o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais – LASA, do Departamento de Meteorologia da UFRJ. Este encontra-se em fase de validação, ou seja, há melhorias incrementais em andamento e desta forma, a comunidade científica de forma geral é convidada a contribuir no controle de qualidade e validação do produto, portanto, podem ocorrer alterações no lançamento de novas versões.

3.7 Google Earth Engine

O *Google Earth Engine* (GEE) pode ser compreendido como uma PaaS (*Plataform as a Service*), uma plataforma computacional do tipo nuvem que tem o objetivo de fornecer ferramentas para o desenvolvimento de análise e exploração de dados geoespaciais (TAURION, 2009). A plataforma contempla mais de quarenta anos de imagens de satélite e atualmente suas principais aplicações são relacionadas à detecção de desmatamento, classificação e mudança da cobertura do solo e estimativa de biomassa e carbono vegetal.

É possível desenvolver, gerenciar, executar e testar diferentes aplicativos na PaaS, sem a necessidade de uma plataforma subjacente, e uma vez que os dados são armazenados em nuvem é facilitado aos pesquisadores o compartilhamento dos resultados para outros usuários da plataforma no momento em que os obtém (GORELICK et al., 2017).

A plataforma possui ampla capacidade de armazenamento e processamento de dados geoespaciais na ordem petabyt, nas linguagens Python e Java Script (GORELICK, 2013). Esta base de dados é composta por produtos, em formato raster, dos sensores MODIS, LANDSAT, ASTER, NOAA e MeaSure, bem como dados já disponíveis no ambiente Google anteriormente (GANEM et al., 2017). O GEE também demonstrou grande eficiência com dados de diferentes escalas e séries temporais (MUTANGA; KUMAR, 2019).

Hoje a plataforma conta com dados vetoriais, de elevação, climáticos e sociais. Os produtos prontos podem ser utilizados livremente e comportam funções de correção atmosférica, solar e índices de vegetação como NDVI e EVI (KUMAR; MUTANGA, 2018). Desta forma, o processamento é otimizado, problemas computacionais relacionados ao uso de softwares pesados são amenizados e processos extensos são facilitados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

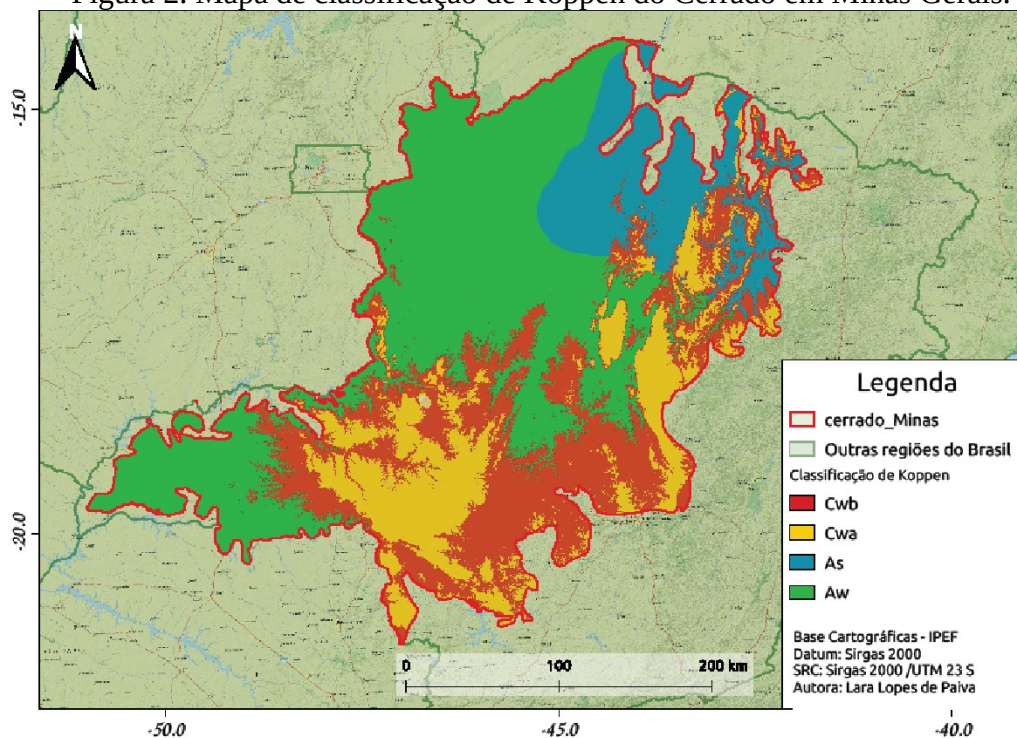
4.1 Área de estudo

Este estudo contempla a porção do Cerrado contida no estado de Minas Gerais. A área tem 333.791,55 Km², correspondendo a 56,9% do estado de Minas Gerais e a 16,2% da extensão total do Cerrado. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (Figura 2) apresenta transição entre:

- Cwb - Clima subtropical de altitude com inverno seco e verão ameno;
- Cwa – Clima subtropical de inverno seco e verão quente;
- As – Clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno;
- Aw - Clima tropical com inverno seco.

A região encontra-se entre os paralelos 14°13'58" e 22°54'00" de latitude sul e os meridianos de 41°51'38" e 51°02'35" a oeste de Greenwich. Abrange 12 Unidades Regionais de Florestas e Biodiversidade (UFRBio), sendo elas: Alto Médio São Francisco, Alto Parnaíba, Centro Norte, Centro Oeste, Jequitinhonha, Metropolitana, Nordeste, Noroeste, Norte, Rio Doce, Sul e Triângulo. Englobando 38 microrregiões e 330 municípios.

Figura 2. Mapa de classificação de Köppen do Cerrado em Minas Gerais.



Fonte: IPEF adaptado pelo autor (2021).

4.2 Base de dados

A base de dados utilizada consiste em arquivos geoespaciais contendo dados vetoriais de queimadas, produtos AQ 1km, adquiridos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e rasters de cobertura e ocupação do solo obtidos da coleção 6.0 do MapBiomas. Todos os arquivos foram recortados para a área de estudo e projetados para a zona UTM (Universal Transversa de Mercator) 23S no sistema de coordenadas SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), admitido como referencial geodésico brasileiro pela resolução 01/2005 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 2005).

Os dados foram processados, quantificados, analisados e tabulados a partir dos softwares QGis 3.4 madeira, R Studio e Excel.

4.2.1 Queimadas

Para a definição das áreas queimadas durante o período estudado foi adquirido o produto AQ1km, constituído por dados MODIS da coleção 6 dos satélites AQUA e TERRA. Os polígonos foram recortados para o Cerrado de Minas Gerais.

Na análise temporal os dados foram agrupados da seguinte forma:

- Mensalmente: visando a quantificação de polígonos e de área total queimada por mês, identificando a frequência de ocorrência de queimadas mensalmente;
- Anualmente: visando a quantificação de polígonos e de área queimada por ano, identificando a frequência de ocorrência de queimadas anualmente.

Na análise espacial inicialmente foi gerado o centróide de cada polígono de queimada. A partir dos centróides foi elaborado um mapa de densidade de Kernel com 5 classes: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

O mapa de densidade consiste na projeção de uma área ao redor de cada ponto correspondendo ao seu raio de influência com o peso atribuído a área do polígono. Posteriormente é aplicada uma função matemática de 1 no centro do ponto e 0 na borda do raio de influência, o valor final é o resultado da soma dos valores sobrepostos divididos pela área de influência de cada ponto (apud SOUZA et al.,2013, p.4960). Os níveis de densidades do mapa de Kernel variam de acordo com a cor, isso auxilia na visualização, pois uma tonalidade mais intensa ou mais escura nos leva a inferir que existe uma concentração de queimadas mais elevada em determinada região, a lógica pode ser invertida, quanto mais clara a cor menor a concentração.

4.2.2 Cobertura do solo

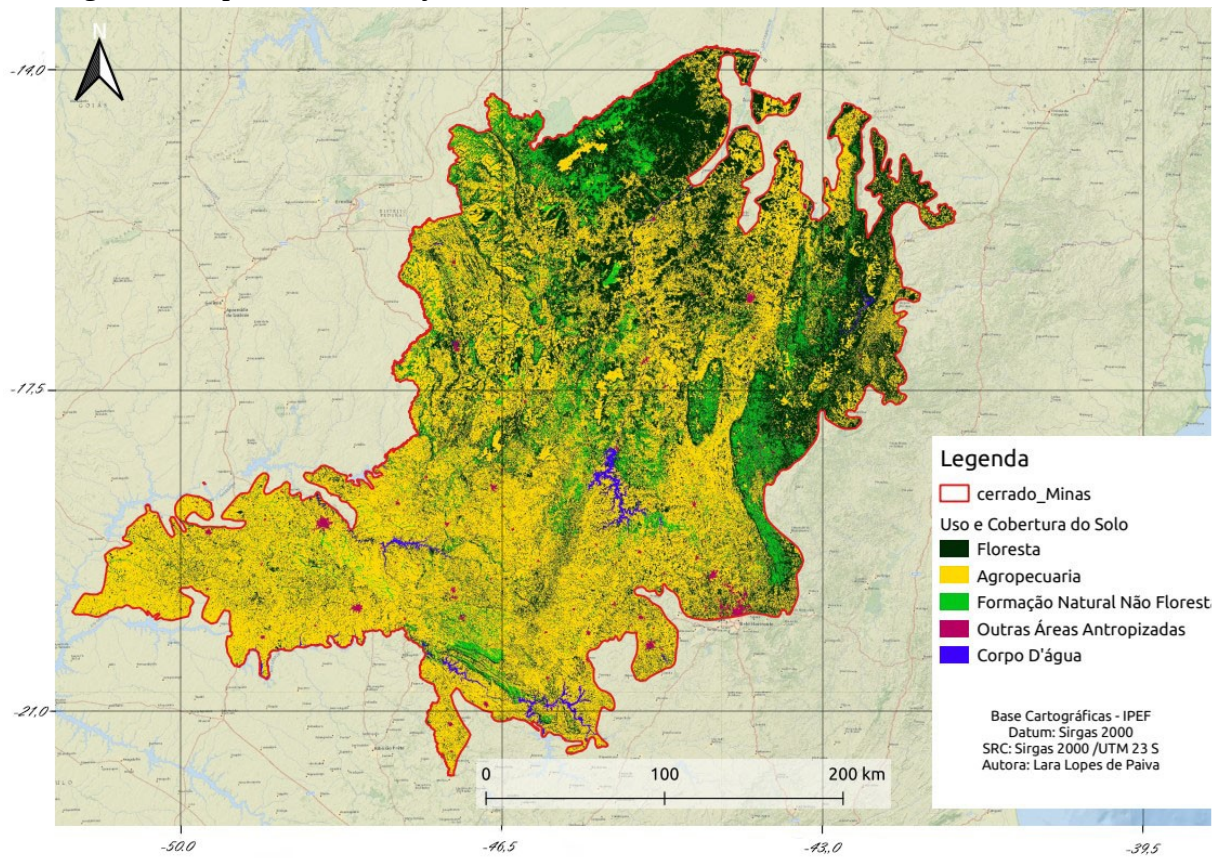
Para a classificação do uso e cobertura do solo foram adquiridas oito imagens classificadas (uma para cada ano, de 2013 à 2020) dos sensores ETM+ e OLI-TIRS, do satélite Landsat TM com resolução espacial de 30m, da coleção 6.0 do MapBioma, obtidos através da plataforma GEE. Estas imagens foram recortadas com base nos polígonos de queimadas do produto AQ 1km.

Para estimar a área afetada pelo fogo foi utilizado o Software RStudio, no qual foram contabilizados os números de pixels de cada classe de uso e cobertura do solo, este número foi multiplicado pelo tamanho do pixel. O resultado gerado foi uma tabela contendo a quantidade em hectares referente a cada classe de uso e cobertura de solo atingida pelo fogo para todos os meses estudados. A classificação de uso e cobertura do solo abrangeu as seguintes classes: florestal, savana, floresta plantada, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, cana, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, afloramento rochoso, mineração, rio lago e oceano, soja e outras lavouras temporárias.

Para a melhor visualização nos mapas e gráficos as classes foram organizadas da maneira subsequente, seguindo a base da coleção 6.0 do MapBiomas (Figura 3):

- Floresta – Formação florestal e formação savânica;
- Formação Natural Não Florestal – Campo alagado e área pantanosa, formação campestre e afloramento rochoso;
- Agropecuária – Pastagem, soja, cana, outras lavouras temporárias, silvicultura e mosaico de agricultura e pastagem;
- Área não Vegetada – Área urbanizada, mineração e outras áreas não vegetadas;
- Corpo d'água – Rios e lagos.

Figura 3. Mapa de classificação de cobertura do solo no Cerrado em Minas Gerais.



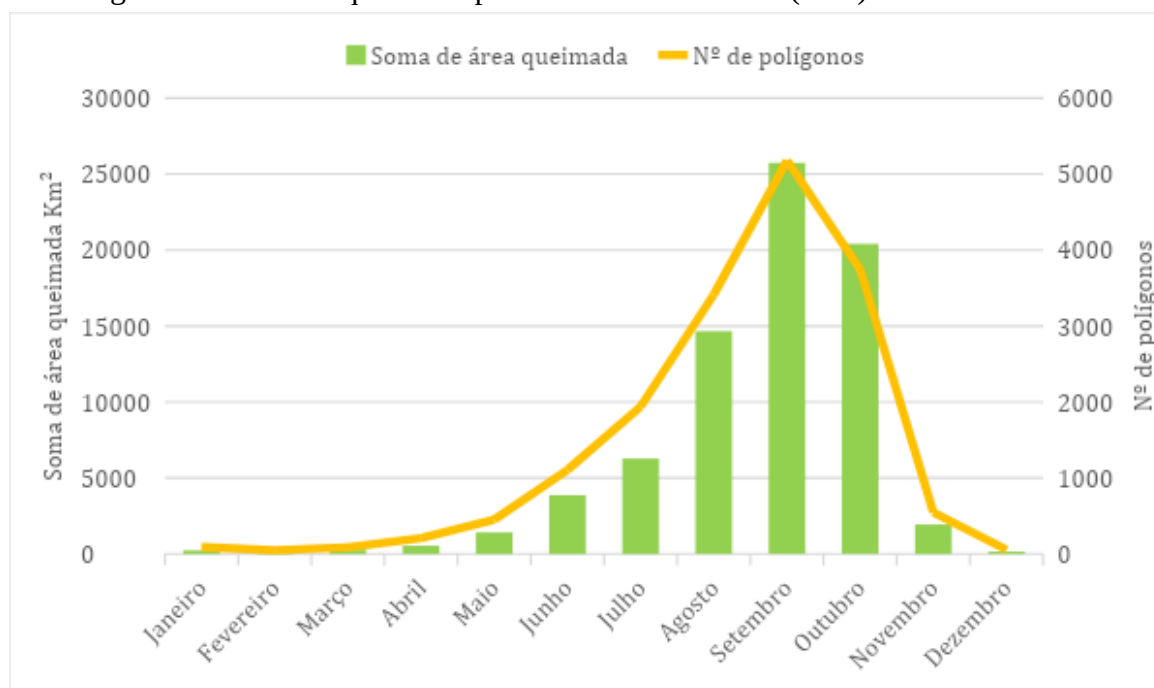
Fonte: Coleção 6.0 do Mapbiomas adaptado pelo autor (2021)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização temporal

Os resultados apresentaram um total de 75,5 mil Km² de área queimada acumulada durante todo o período analisado, ressaltando que em algumas regiões houveram ocorrências repetidas de queimadas. Foi possível constatar ainda, que houveram uma maior extensão de área queimada concentrada nos meses de agosto, setembro e outubro, representando respectivamente a um valor de 19,64%, 32,32% e 27,37% da área total queimada por mês nos 8 anos, com o trimestre acumulado correspondendo então a 79,33%, do total anual de áreas queimadas. seguidos por uma quantidade expressiva de queimadas nos meses de julho e junho. Os meses com menor quantidade de áreas queimadas foram dezembro, janeiro e fevereiro, totalizando 0,7% da área queimada (Figura 4). O número de polígonos de queimadas ao decorrer dos meses é proporcional à área queimada.

Figura 4. Área total queimada por mês de 2013 a 2020 (Km²) no Cerrado Mineiro.

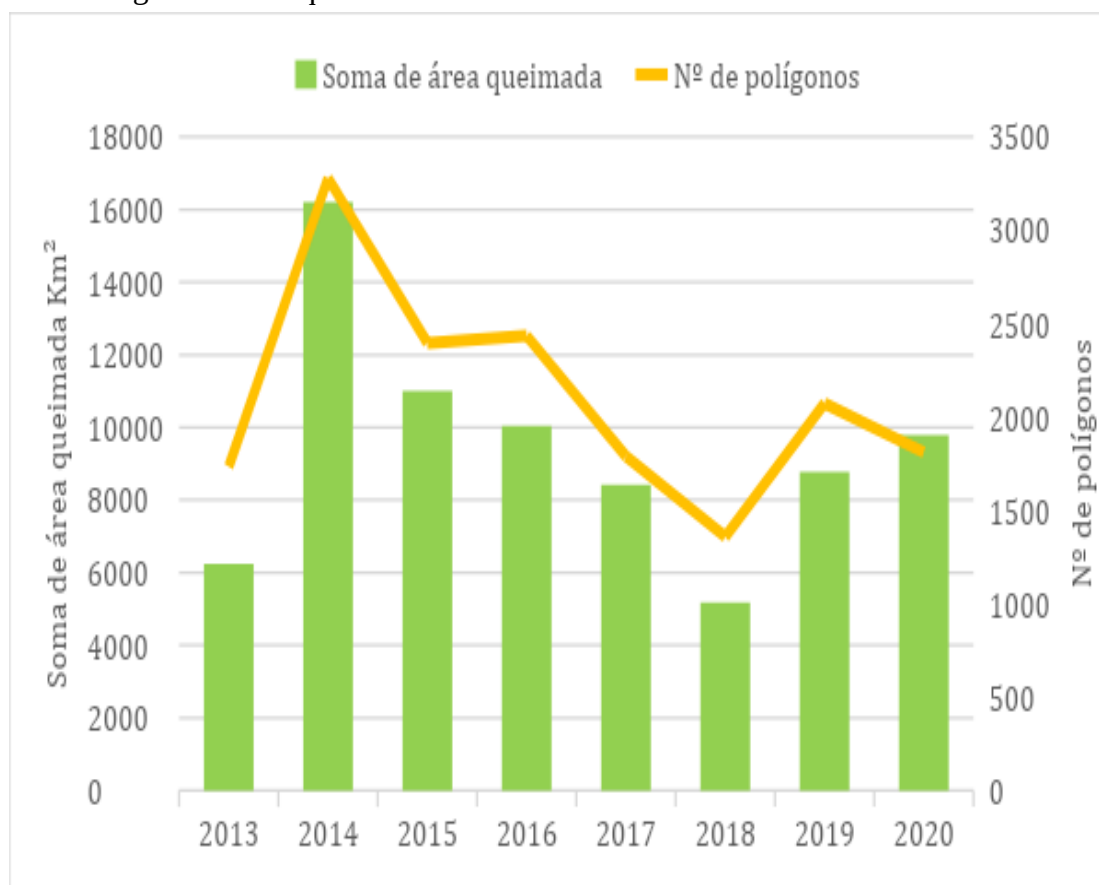


Fonte: Do autor (2021).

Na análise anual, foi constatado que o ano que mais apresentou queimadas foi 2014, com mais de 16 mil km² de área afetada pelo fogo, seguido pelos anos de 2015, 2016 e 2020, com 15,01%, 13,69% e 13,35% respectivamente, como representado na Figura 5. Na análise anual o

número de polígonos não é diretamente proporcional a área queimada. De 2019 para 2020 ocorreu um aumento na área queimada e uma redução na quantidade de polígonos de queimadas, o que indica que em 2019 ocorreram mais queimadas de menor proporção se comparado ao ano de 2020. O mesmo ocorre em 2013 e 2018, que possuem menores áreas queimadas, porém continuam com elevado número de polígonos.

Figura 5. Área queimada total anual em Km² no Cerrado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2021).

A predominância de queimadas no Cerrado de Minas Gerais no período estudado ocorreu no final da estação seca, de agosto à outubro, levando à suposição de que estas não tenham origem natural, por meio de raios, e sim antrópica. As queimadas que ocorrem ao final do período de estiagem tendem a ser de maior severidade, consumindo grandes extensões de áreas devido ao acúmulo de biomassa seca e inflamável (PIVELLO, 2006, ALVARADO et al, 2017).

Rocha e Nascimento (2021), em uma pesquisa realizada para o domínio do Cerrado no período compreendido entre 1985 e 2018, constataram uma maior incidência de queimadas de agosto a setembro, com a média trimestral de 72% do total anual de queimadas, com ênfase no mês de setembro que obteve média de 33,3%. Estes resultados corroboram os resultados desta

pesquisa, nos levando a identificar um padrão na frequência de queimadas, esta constatação deve ser levada em consideração no planejamento de estratégias de prevenção a incêndios.

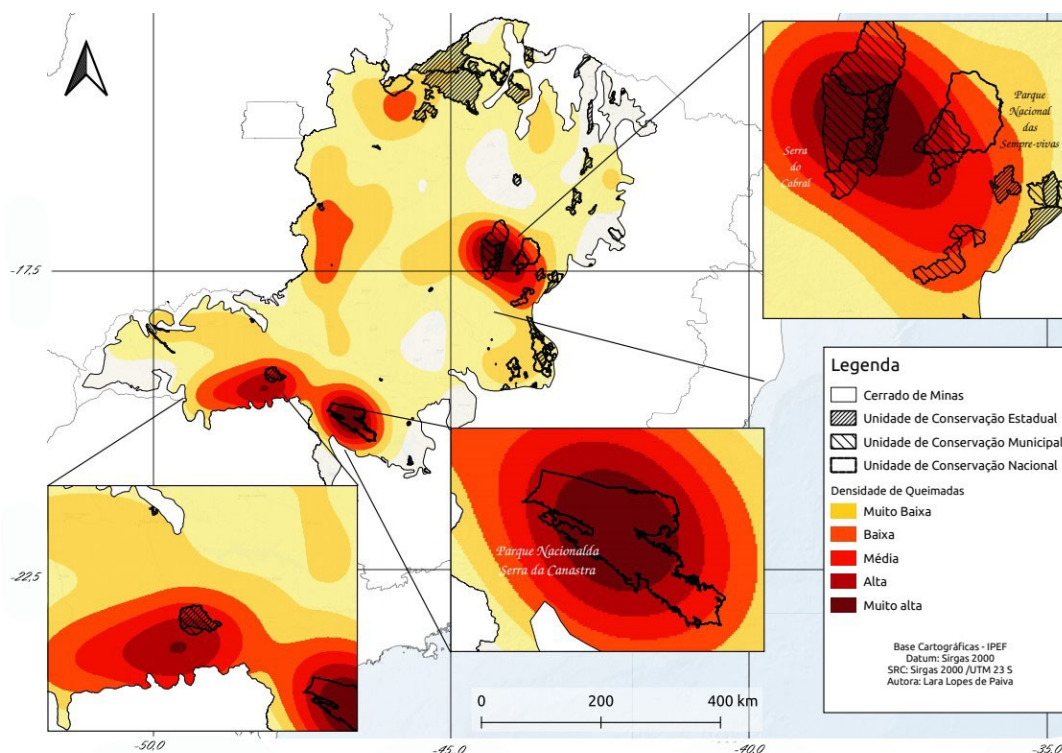
5.2 Caracterização espacial

Com mapa de densidade de Kernel foi possível identificar os locais com maior frequência por área de queimadas dentro do período estudado. As cores mais escuras representam os locais com maior densidade de queimadas enquanto as cores mais claras, representam os locais com menor densidade de queimadas (Figura 6).

Identifica-se três regiões de destaque, a primeira, está situada no Centro Norte de Minas Gerais (Microrregião de Curvelo e Mesorregião Central Mineira), principalmente sobre as Áreas de Preservação Ambiental (APA) municipais da Serra do Cabral e o Parque Estadual da Serra do Cabral, previstos no Sistema Nacional de Manejo de Unidade de Conservação (SNUC). Observa-se que a região é ocupada por uma grande extensão de floresta e de formação natural não florestal, fragmentada por uma faixa de agropecuária.

Outra área com densidade de queimada muito alta foi ao sul do estado, sobre o município de Uberlândia onde a paisagem é em grande proporção ocupada pela agropecuária. À leste deste, encontra-se outra área de grande concentração de queimadas, no Parque Nacional da Serra da Canastra(PNSC), onde há predominância da fitofisionomia de campo rupestre, que possui alta inflamabilidade, e são, ainda, áreas de difícil acesso, o que dificulta o combate aos incêndios, além de ser historicamente comum, entre os moradores da região, o uso do fogo para manejo da pastagem (PEREIRA et al., 2011.).

Figura 6. Mapa de Kernel cumulativo de 2013 a 2020 no Cerrado mineiro.



Fonte: Do autor (2021).

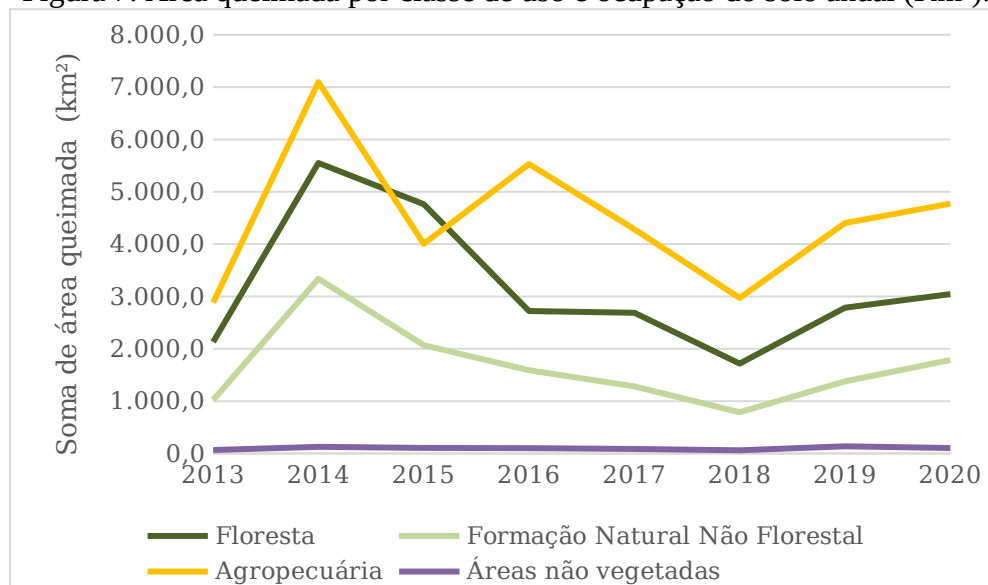
Rocha e Nascimento (2021), observaram, entre 1998 e 2018, focos de calor recorrentes nas mesmas áreas destacadas no mapa de Kernel desta pesquisa apontando que estas regiões são constantes alvos de queimadas, evidenciando ainda outras áreas com alta densidade de focos de calor. A presente pesquisa, no entanto, conta ainda com o peso do mapa de Kernel atribuído à variável “tamanho da área de queimada”, e desta forma, é quantificado o total de área afetada pelo fogo e não apenas o número de focos de calor em uma determinada região. Este resultado, ao indicar regiões específicas de maior intensidade de queimadas, pode guiar ações de gestão do fogo no Cerrado de Minas Gerais.

5.3 Cobertura vegetal afetada pelo fogo

Ao analisar as áreas queimadas por classe de uso e ocupação do solo podemos observar (Figura 7) que as regiões ocupadas pela agropecuária foram as mais afetadas, exceto em 2015, que houve um aumento nas queimadas em florestas e um decréscimo em agropecuária. Porém no geral

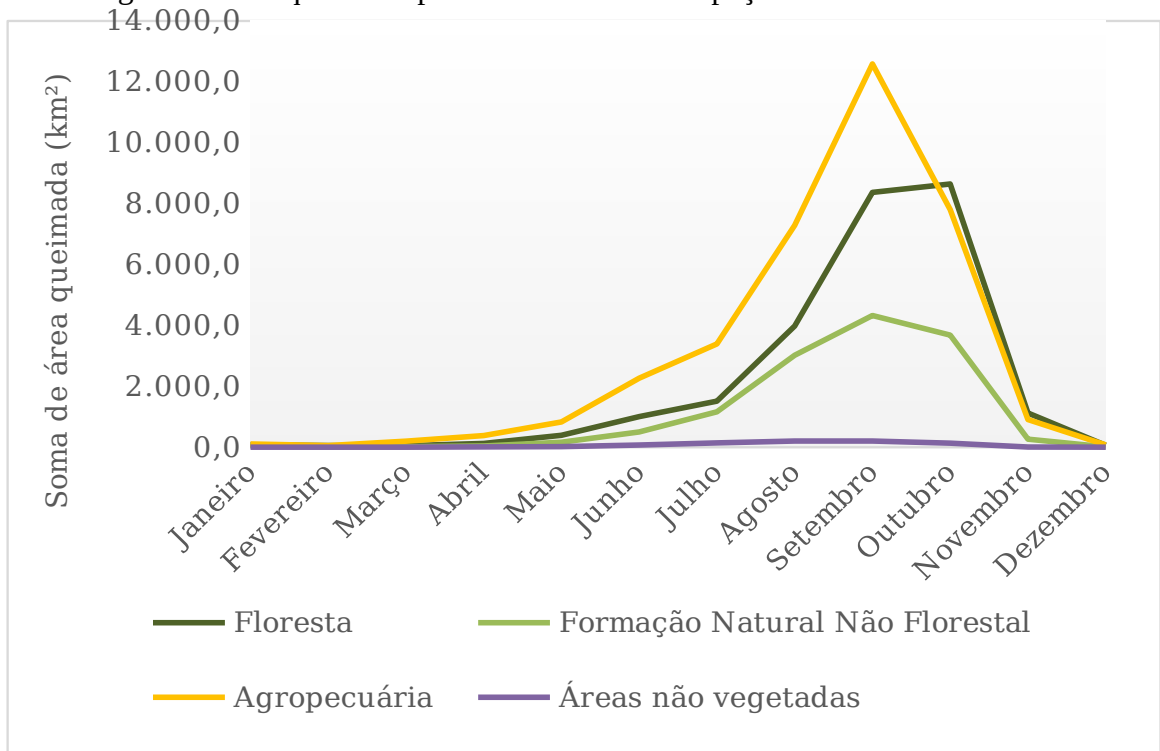
as formações florestais foram as segundas mais afetadas pelo fogo, seguidas pela formação natural não florestal, todas tiveram maior incidência em 2014 e menor em 2018 .

Figura 7. Área queimada por classe de uso e ocupação do solo anual (Km²).



Fonte: Do autor (2021).

No que se refere aos meses, em uma análise cumulativa dos anos estudados, ponderamos que a classe mais afetada pelo fogo é a de agropecuária com um pico extremo em setembro e redução em novembro (Figura 8), seguida pelas áreas de floresta, com maior concentração em setembro e outubro, seguida pela formação natural não florestal, que teve maior quantidade de área queimada em setembro. As três classes tiveram um aumento de queimadas a partir de maio e uma redução em novembro.

Figura 8. Área queimada por classe de uso e ocupação do solo anual em Km²

Fonte: Do autor (2021).

6. CONCLUSÃO

Há uma expressiva concentração de queimadas no período seco, principalmente no trimestre agosto-setembro-outubro, demonstrando a ação antrópica, já que incêndios causados por raios nessa época do ano são raros. O ano com maior quantidade de área queimada foi 2014 e o menor 2018.

Na análise espacial observou-se uma maior concentração de queimadas na região Centro Norte de Minas Gerais principalmente sobre a Serra do Cabral e ao sul do estado no Parque Nacional da Serra da Canastra e próximo ao município de Uberlândia, onde o solo é majoritariamente ocupado pela agropecuária. A análise temporal, por sua vez, mostrou os meses de maior ocorrência das queimadas ao longo do ano. Essas informações são de extrema importância para a elaboração de planos de gestão do fogo, uma vez que mostra com clareza os meses com maior frequência e a existência de regiões com maior concentração de queimadas no estado.

As queimadas aconteceram em maior proporção nas áreas de agropecuária, seguido pelas formações florestais, formações naturais não florestais e em menor proporção em área urbana, configura-se então um novo regime, antrópico, de queimadas. É importante ressaltar também a importância do INPE à pesquisa nacional, ao subsidiar informações e dados essenciais ao monitoramento e fiscalização de queimadas e à formulação de políticas públicas de gestão do fogo.

REFERÊNCIAS

- ABADE, N. et al. **Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary.** *Remote Sensing*, v. 7, n. 9, p. 12160–12191, 18 set. 2015.
- ARTAXO, P. et al. **Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions.** *Faraday Discussions*, v. 165, p. 203, 2013.
- BARBOSA, A. S.; SCHIMITZ, P. I. **Ocupação Indígena do Cerrado: esboço de uma história.** In: *Cerrado: Ecologia e Flora*. Brasília: Embrapa Cerrados. p. 46–48.
- BASTOS, L. S.; BARBOSA, M. J.; OLIVEIRA, S. D. Polocentro e Prodecer: Apontamentos sobre as transformações territoriais no Cerrado brasileiro. In: 64ª Reunião Anual da SBPC. São Luiz. 2012.
- BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções.** Embrapa Cerrados. 2020.
- BRASIL. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, **incisos I, II, III e VII da Constituição Federal**, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
- CHEN, G. et al. **Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin.** *Applied Geography*, v. 63, p. 1–8, set. 2015.
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. DE. **Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos.** *Sociedade & Natureza*, v. 29, p. 471, 2017.
- EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado.** *Arquivos do Jardim Botânico*, v. 21, p. 125–134, 1977.
- ELOY, L. et al. **Firing up: Policy, politics and polemics under new and old burning regimes.** *The Geographical Journal*, v. 185, p. 2–9, 2019.
- ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; ANDRADE, J. C. DE. Desenvolvimento do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2011.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. R. **Deve-se Usar o Fogo como Instrumento de Manejo no Cerrado e Campos Sulinos?** *Revista Biodiversidade Brasileira*, v. 1 n.2, p. 12–25, 2011.
- FRANÇOSO, R. D. et al. **Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot.** *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 1, p. 35–40, jan. 2015.
- GANEM, Khalil Ali. **Classificação da cobertura do solo na Caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica.** 2017. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento e análise ambiental). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- GIGLIO, L. et al. **The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product.** *Remote Sensing of Environment*, v. 21, p. 72–85, 2018.
- GONTIJO, G. A. B. et al. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2011.

GORELICK, N. Google Earth Engine. EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE ABSTRACTS, 15. **Anais...2013**

GORELICK, N. et al. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18–27, 2017.

INPE – Programa queimadas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acessado em 12/08/2021 através do link: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>>.

JUSTICE, C. et al. **An overview of MODIS Land data processing and product status**. Remote Sensing of Environment, v. 83, n. 1–2, p. 3–15, nov. 2002.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. MEGADIVERSIDADE, v. 1 n.1, p. 148–155, 2005.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. **Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential**. Remote Sensing, v. 10, n. 10, p. 1509, 2018.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **How Many Species Are There in Brazil?** Conservation Biology, v. 19, n. 3, p. 619–624, jun. 2005.

LIBONATI, R. et al. **An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery**. Remote Sensing, v. 7, n. 11, p. 15782–15803, 2015.

MACHIDA, W. S. **Dinâmica multitemporal do estrato lenhoso sob diferentes regimes de fogo no Cerrado**. Universidade de Brasília, 2021.

MARTINS, R. C. **Definição de zonas de manejo por índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto e mapas de produtividade**. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

MATOS, R. C. DE M.; CANDEIAS, A. L. B. **Uso de imagens MODIS no mapeamento de bacias hidrográficas**. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade Federal de Brasília, 2012.

MIRANDA, H. S. **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo**. Brasília.: Ibama MMA, 2010.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. Relation of Soils and Geomorphic Surfaces in the Brazilian Cerrado. In: **The Cerrados of Brazil**. [s.l.] Columbia University Press, 2002. p. 13–32.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. O bioma cerrado. Brasília, 2020. Disponibilidade em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 5 nov. 2021.

MUTANGA, O.; KUMAR, L. **Google earth engine applications**. Remote Sensing, v. 11, n. 5, p. 591, 2019.

NIEDERLE, P.; RADOMSKY, G. F. W. **Introdução às teorias do desenvolvimento**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2016.

OLIVA, P.; MARTÍN, P.; CHUVIECO, E. **Burned area mapping with MERIS post-fire image**. International Journal of Remote Sensing, v. 32, n. 15, p. 4175–4201, 10 ago. 2011.

PAUSAS, J. G. **Bark thickness and fire regime**. British Ecological Society, v. 29, n. 3, p. 315–327, 2015.

PENHA, T. V. Detecção de áreas queimadas na Amazônia utilizando imagens de media resolução especial, técnicas de GEOBIA e mineração de dados. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

PEREIRA, A. A. et al. Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e diferentes alvos. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**2015

PIVELLO, V. **The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: Past and present.** Fire ecol, v. 7, p. 24–39, 2011.

PRICHARD, S. J.; STEVENS-RUMANN, C. S.; HESSBURG, P. F. **Tamm Review: Shifting global fire regimes: Lessons from reburns and research needs.** Forest Ecology and Management, v. 396, p. 217–233, 2017.

PIROMAL, R. A. S. et al. **Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia.** Acta Amazonica, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.

Projeto MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Cerrado - Coleção 6, acessado em 05 no. 2021 através do link: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_2.pdf

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. **Lightning Fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking Management Strategies.** Environmental Management, v. 26, p. 675–684, 2000.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; DA SILVA, J. A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica. **Anais...**Teresina, Brasil: 1981

RIOS, M. N. DA S.; SOUSA-SILVA, J. C. **Grupos funcionais em áreas com histórico de queimadas em Cerrado sentido restrito no Distrito Federal.** Pesquisa Florestal, v. 37, p. 285, 2017.

ROCHA, M.I.S.; NASCIMENTO, D.T.F. **Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.14, n.3, p.1220-1235, 2021.

ROSAN, T. M. et al. **Extensive 21st-Century Woody Encroachment in South America's Savanna.** **Geophys.** Geophys, v. 46, p. 6594–6603, 2019.

SALGADO, C. B. **Emprego de séries temporais na Amazônia: análise de imagens MODIS e RADAR para mapeamento de uso e ocupação do solo no Estado do Acre.** Universidade de Brasília, 2019.

SANO, E. E. et al. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil.** Environmental Monitoring & Assessment, v. 166, p. 113–124, 2010.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, F. J. **Cerrado: Ecologia e Flora.** DF: Embrap ed. Planaltina: DF: Embrapa Cerrados, 2008.

SCARAMUZZA, C. A. M. et al. **Land-use and Land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 6, p. 1041–1051, 2017.

SCHEPERS, L. et al. **Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX).** Remote Sensing, v. 6, n. 3, p. 1803–1826, 2014.

SCHMIDT, I. B. et al. **Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward.** J Appl Ecol, v. 55, p. 2094–2101, 2018.

STRASSBURG, B. B. N. et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot.** Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, p. 0099, 23 abr. 2017.

SILVA, E. B. DA. **A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma cerrado.** [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2013.

SILVA, F. S. DA.; PESTANA, A. L. M.; MARTINS, L. S. **Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no Cerrado Maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador.** Revista Geográfica Acadêmica, v. 13, n. 2, p. 90–105, 2019.

SIMON, M. F. et al. **Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, 1 dez. 2009.

SOUZA, N. P. de. et al. **Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor.** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu – PR, v. 16, p. 4958-4965, 2013.

STRASSBURG, B. B. N. et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot.** Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 4, p. 0099, 23 abr. 2017.

TAURION, C. **Cloud Computing: computação em nuvem: transformando o mundo da tecnologia da informação.** Rio de Janeiro: Ed. Brasport, 2009.

WANG, S. D.; MIAO, L. L.; PENG, G. X. **An Improved Algorithm for Forest Fire Detection Using HJ Data.** Procedia Environmental, v. 13, p. 140–150, 2012.

XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. DA S. R. V.; SANTOS, J. R. DOS. **Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon.** Forest Ecology and Management, v. 294, p. 97–105, 2013.

YUAN, C.; ZHANG, Y.; LIU, Z. **A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques.** Canadian Journal of Forest Research, v. 45, n. 7, p. 783–792, 2015.