



**BRUNO ALVES MOSCARDINI**

**OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE  
ESTADUAL SERRA DA BOA ESPERANÇA - MG**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**BRUNO ALVES MOSCARDINI**

**OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE ESTADUAL  
SERRA DA BOA ESPERANÇA - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal para a obtenção do título de Bacharel.

Prof(a). Dr(a). Ana Carolina Maioli  
Campos Barbosa  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2023**

**BRUNO ALVES MOSCARDINI**

**OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE ESTADUAL  
SERRA DA BOA ESPERANÇA – MG**

**OCCURRENCE OF FOREST FIRE IN PARQUE ESTADUAL SERRA DA BOA  
ESPERANÇA – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 13 de julho de 2023.

Dr(a). Ana Carolina Maioli Campos Barbosa UFLA

Dr(a). Christiany Mattioli Sarmiento UFLA

Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior UFLA

Prof(a). Dr(a). Ana Carolina Maioli  
Campos Barbosa  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2023**

## **AGRADECIMENTOS**

É impossível alcançar o êxito sozinho. Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a minha construção enquanto ser humano, estudante e profissional. Não deixarei aqui os nomes, cargos e rótulos de relacionamento destas pessoas para comigo. Ao invés disso, aqueles e aquelas que realmente ajudaram com apoio psicológico, emocional, financeiro, críticas construtivas e mesmo com a própria presença na minha vida, receberão de mim os agradecimentos pessoais. Me sinto privilegiado por ter conhecido tantas pessoas, algumas desde a aurora dos meus dias, outras mais recentemente, que me agraciaram tornando meus dias mais alegres, leves e inspiradores. A força, que me foi passada pelos que vieram antes de mim e por aqueles que estiveram e estão ao meu lado, me manteve de pé perante os obstáculos e me ergueu quando caí. Esta conquista não é minha, é nossa!

## RESUMO

O Parque Estadual Serra da Boa Esperança é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral situada no bioma Cerrado. Apresenta diferentes fitofisionomias naturais em seu interior e diversas atividades agropecuárias na sua zona de amortecimento. Com exceção de 2020, os incêndios no parque ou em sua zona de amortecimento ocorreram anualmente de 2016 a 2022. O presente trabalho objetivou sistematizar e analisar informações relevantes a respeito das ocorrências de incêndio no local e intervalo de tempo de interesse sob a perspectiva espaço-tempo. A maioria dos incêndios ocorreu na zona de amortecimento, sendo que a recorrência máxima encontrada no intervalo estudado foi de 2 incêndios no mesmo local. O mês que concentrou o maior número de incêndios e maior área queimada foi outubro, seguido do mês de setembro. Foi observada uma ligeira modificação do uso e cobertura do solo antes e depois dos incêndios de 2016 a 2019, onde as áreas de formações naturais diminuíram em detrimento das áreas de agropecuária. Os locais, datas e modificações do uso e cobertura do solo sugerem que a maioria dos incêndios tem origem antrópica, mas que a intencionalidade provavelmente não é uma expansão da fronteira agrícola, mas sim um manejo do solo já consolidado para o uso produtivo devido à pequena área convertida. A detecção dos incêndios pelo INPE também foi avaliada, sendo possível perceber que os incêndios maiores e mais duradouros foram melhor detectados, apresentando um maior número de focos de calor. Ainda que os menores incêndios não tenham sido detectados, é possível perceber que a maioria da área total queimada foi detectada. O mapa de densidade Kernel gerado a partir dos focos de calor apresentou concordância parcial com o mapa de recorrência dos incêndios. As discordâncias se explicam devido às distorções na detecção dos focos de calor em função de condições atmosféricas, resolução espacial da imagem utilizada pelo INPE e das características de cada incêndio. Por fim, foi testada a aplicabilidade de índices de perigo de incêndio utilizando dados meteorológicos de reanálise. Os índices acumulativos FMA e FMA+ apresentaram taxas de 5,93% e 11,22% de acerto respectivamente, superestimando muito o número de dias com suscetibilidade a incêndios. O índice de Angstron apresentou o melhor desempenho quanto à assertividade de suas previsões, com 48,08% de acerto.

**Palavras-chave:** Incêndios. PESBE. Sensoriamento Remoto. Cobertura do Solo. Índices de Perigo de Incêndio.

## ABSTRACT

The Serra da Boa Esperança State Park is a fully protected conservation unit located within the Cerrado biome. It presents different natural phytophysionomies within its boundaries and various agricultural and livestock activities in its buffer zone. With the exception of 2020, fires in the park or its buffer zone occurred annually from 2016 to 2022. The present work aimed to systematize and analyze relevant information regarding fire occurrences at the site and time interval of interest from a space-time perspective. Most fires occurred in the buffer zone, with the maximum recurrence found in the studied interval being 2 fires in the same location. The month that concentrated the highest number of fires and largest burned area was October, followed by September. A slight modification of land use and cover was observed before and after the fires from 2016 to 2019, where natural formation areas decreased to the detriment of agricultural areas. The locations, dates, and modifications of land use and cover suggest that most fires are anthropogenic in origin, but that intent is probably not an expansion of the agricultural frontier, but rather a management of already consolidated soil for productive use due to the small converted area. The detection of fires by INPE was also evaluated, being possible to perceive that larger and longer-lasting fires were better detected, presenting a greater number of heat sources. Although smaller fires were not detected, it is possible to perceive that most of the total burned area was detected. The Kernel density map generated from heat sources presented partial agreement with the fire recurrence map. The disagreements are explained due to distortions in the detection of heat sources due to atmospheric conditions, spatial resolution of the image used by INPE, and characteristics of each fire. Finally, the applicability of fire danger indices using reanalysis meteorological data was tested. The cumulative FMA and FMA+ indices presented hit rates of 5.93% and 11.22% respectively, greatly overestimating the number of days susceptible to fires. The Angstrom index presented the best performance in terms of assertiveness of its predictions, with a hit rate of 48.08%.

**Keywords:** Fires. PESBE. Remote Sensing. Land Cover. Fire Danger Indices.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS .....	9
2.1 Objetivo Geral .....	9
2.2 Objetivos Específicos .....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	10
3.1 Unidades de conservação no Brasil e o PESBE.....	10
3.2 O fogo e os incêndios florestais .....	11
3.3 O fogo no Cerrado.....	13
3.4 Manejo integrado do fogo em áreas naturais protegidas .....	17
3.5 O monitoramento de focos de calor e incêndios florestais no Brasil .....	18
3.6 Índices de perigo de incêndio .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
4.1. Área de Estudo.....	20
4.2. Bases de Dados .....	21
4.2.1. Incêndios florestais no PESBE e dados georreferenciados .....	21
4.2.2. Mapas de uso e cobertura do solo.....	22
4.2.3. Focos de calor.....	22
4.2.4. Dados meteorológicos e de precipitação .....	23
4.3. Análise dos dados.....	23
4.3.1. Mapa de densidade Kernel .....	23
4.3.2. Índices de Perigo de Incêndio .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Sazonalidade e localização dos incêndios.....	27
5.2 Geolocalização e mapa de recorrência dos incêndios.....	30
5.3 Cobertura do solo antes e depois dos incêndios.....	33
5.4 Focos de calor do INPE .....	38

5.5	Mapa de densidade Kernel para os focos de calor do Inpe.....	41
5.6	Índices de perigo de incêndio .....	42
6.	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O Parque Estadual Serra da Boa Esperança (PESBE) é uma Unidade de Conservação (UC) instituída legalmente por meio do Decreto Estadual nº 44520 de 16 de maio de 2007. O PESBE, sigla comumente utilizada para denominar o parque, se situa nos municípios de Boa Esperança e Ilicínea, com área de 5874 hectares (IEF, 2021). A Unidade de Conservação se situa no domínio Cerrado, bioma considerado como um dos hotspots mundiais em termos de biodiversidade (FRANÇOSO *et al.*, 2015).

Os incêndios florestais fazem parte da dinâmica natural de biomas savânicos, como o Cerrado brasileiro. Apesar da vegetação do Cerrado apresentar adaptações evolutivas que permitem boa resiliência à ocorrência de incêndios florestais naturais (PEREIRA, 2009), essa interdependência está diretamente relacionada à frequência de recorrência do fogo. Estima-se que a uma frequência natural oscilando entre 3 a 9 anos, o ecossistema se mantém preservado, permitindo a recuperação das populações vegetais lenhosas (MIRANDA, 2010; RIOS, 2017). A ocorrência de incêndios dentro do PESBE ou na sua área de amortecimento é quase anual, resultando em uma série de consequências deletérias a nível local, por afetar a diversidade e estrutura ecossistêmica, e a nível global devido às altas emissões de gases que contribuem para o efeito estufa (PAIVA, 2021).

O sensoriamento remoto se destaca como uma valiosa ferramenta na detecção da ocorrência de incêndios, possibilitando a cobertura de grandes áreas independentemente da dificuldade de acesso por não ser necessário estar presencialmente no local (GONTIJO *et al.*, 2011). Dessa forma, o uso dessa tecnologia se apresenta como uma alternativa eficiente e menos dispendiosa de se obter os dados necessários para um melhor planejamento de estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais (PIROMAL *et al.*, 2008). Como exemplo, instituições de pesquisa nacionais e internacionais atuam fortemente na aquisição e análise de imagens de satélites orbitais para geração de produtos que monitorem, em diferentes escalas, a ocorrência de focos de calor.

Os focos de calor capturados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são detectados por meio de sensores embarcados em satélites orbitais polares e geoestacionários e disponibilizados para download por meio do banco de dados BDQueimadas (INPE, 2023).

O MapBiomias é uma rede colaborativa composta por startups de tecnologia, organizações não governamentais e universidades, que gera dados e produtos a respeito do uso e cobertura do solo, incêndios e desmatamento. Estes produtos são gerados a partir do

uso de geotecnologias, a exemplo de sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital de imagens e da participação de especialistas em diversas áreas do conhecimento, relacionadas aos estudos dos biomas e da agricultura. Desde 2015 o MapBiomas gera mapas anuais de uso e cobertura do solo baseado nas imagens da série de satélites Landsat e disponibiliza para download via Google Earth Engine (MAPBIOMAS, 2023).

Além das análises de focos de calor e de cobertura do solo, é necessária a aplicação de metodologias que possam auxiliar no planejamento de controle e combate aos incêndios e no estabelecimento de zonas de risco e alocação de recursos (SOARES, 1985). Entre as metodologias disponíveis se destaca a utilização de índices de perigo de incêndios, que são modelos matemáticos aplicados a dados meteorológicos e de precipitação que indicam o nível de risco de ocorrência de incêndios em determinado dia (SOARES; BATISTA, 2017).

Esse trabalho se propõe a analisar conceitos básicos para o entendimento do contexto do PESBE a partir de dados sobre a ocorrência de incêndios florestais dentro do perímetro do parque e na sua zona de amortecimento entre os anos de 2016 e 2022. A agregação, sistematização e análise da ocorrência de incêndios no PESBE pode vir a contribuir como insumo para um futuro planejamento e elaboração de um plano de manejo integrado do fogo para a unidade de conservação.

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a disponibilizar informações relevantes que podem vir a contribuir com a futura implementação de um programa de manejo integrado do fogo no PESBE, indo de encontro à avaliação e priorização da necessidade de dados e planejamento presente no plano de manejo da unidade de conservação. No documento é citada a necessidade de dados sobre incêndios para que estes sejam manejados com o objetivo de reduzir os danos ambientais causados por este distúrbio (IEF, 2021).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral proposto para esse trabalho é agregar, processar e analisar dados sobre a ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual Serra da Boa Esperança (PESBE) entre os anos de 2016 e 2022 para fornecer informações de base para um futuro plano de manejo integrado do fogo.

## 2.2 Objetivos Específicos

- a) Sistematizar os dados disponíveis de incêndios ocorridos no PESBE e sua Zona de Amortecimento entre 2016 e 2022.
- b) Mapear os incêndios e determinar sua recorrência e alteração na cobertura do solo.
- c) Comparar os dados reais de ocorrência com os dados de foco de calor detectados pelo INPE.
- d) Testar a aplicabilidade dos índices de perigo de incêndio FMA, FMA+ e Angstrom para o PESBE com os dados atmosféricos disponíveis.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Unidades de conservação no Brasil e o PESBE

As Unidades de Conservação são espaços territoriais com área definida que possuem características naturais importantes. São instituídas pelo Poder Público e existem sob regime administrativo especial, cabendo ao estado sua devida proteção (BRASIL, 2000). Uma das principais finalidades das Unidades de Conservação é a manutenção da diversidade genética, dos processos ecológicos e dos ecossistemas naturais, visando a perpetuação desses fenômenos no planeta (UICN, 1994). Além disso, as UC's desempenham o papel de proteger espécies ameaçadas de extinção; promover, em alguns casos, o uso sustentável dos recursos naturais, proteger paisagens naturais ou pouco alteradas de notável beleza cênica; proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; proteger recursos hídricos e edáficos; proporcionar ambientes propícios para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental; valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica; favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico; proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente (BRASIL, 2000).

O grande marco legislativo, de âmbito nacional, que agregou os conceitos de Unidade

de Conservação e suas atribuições foi a criação do SNUC, Sistema Nacional de Unidades de Conservação, através da Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000. Na esfera do estado de Minas Gerais, existe a Lei 20.922, de 16 de outubro de 2013, que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade no estado, norteando em consonância com a Lei federal, a criação, manutenção e administração de Unidades de Conservação nos limites do estado de Minas Gerais.

Dentro desse contexto legislativo, foi instituído legalmente em 16 de maio de 2007, através do Decreto nº 44520, o Parque Estadual Serra da Boa Esperança. Trata-se de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou seja, possui a função de evitar as alterações causadas pela ação antrópica, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais dentro dos limites da unidade (MINAS GERAIS, 2007). O uso indireto é caracterizado pela ausência de consumo, dano, destruição ou coleta de materiais, produtos ou matérias primas dentro da Unidade de Conservação (BRASIL, 2000). O PESBE, sigla atribuída ao Parque Estadual Serra da Boa Esperança, se enquadra na categoria parque, pois possui área representativa de ecossistema de valor ecológico e beleza cênica que contendo espécies da fauna e da flora e sítios com relevância científica, educacional, recreativa, histórica, cultural, turística, paisagística e espiritual, em que se possa conciliar, harmoniosamente, o uso científico, educativo e recreativo com a preservação integral e perene do patrimônio natural (MINAS GERAIS, 2013). É necessário, portanto, planejar estratégias para proteger estas riquezas dos impactos causados por um regime de fogo que possa trazer malefícios aos ecossistemas locais.

### **3.2 O fogo e os incêndios florestais**

O fogo pode ser definido como uma reação extremamente acelerada de oxidação, onde o oxigênio e uma substância qualquer são combinados gerando calor, luz e chamas (SOARES; BATISTA, 2017). O que caracteriza o fogo como incêndio florestal é a sua propagação em áreas florestais e savânicas, podendo ocorrer de forma natural ou por ação ou omissão humana, sendo fortemente influenciado pelos fatores sazonais e meteorológicos que têm a capacidade de intensificar o evento e dificultar seu controle (DEFESA CIVIL RIO DE JANEIRO, 2020).

As temperaturas do ar e do material combustível afetam direta e indiretamente a probabilidade de ocorrência de incêndios e também a sua propagação, sendo que quanto mais altas maior o risco. Estas temperaturas são influenciadas por diversos fatores, sendo alguns

deles: altura, cobertura do solo e relevo. A umidade atmosférica também é um fator preponderante, atuando inversamente sobre a inflamabilidade dos combustíveis florestais. Outro fator muito importante é o movimento das massas de ar. Esses movimentos são o resultado de forças globais como o movimento da Terra e macro relevo e também de forças locais como diferenças de temperatura e relevo em menor escala. Dentre os ventos locais, os que mais influenciam na propagação dos incêndios são a brisa marinha, brisa terrestre, ventos de montanha, ventos de vales e o movimento vertical das massas de ar, caracterizado como estabilidade atmosférica. Ventos mais intensos podem favorecer a velocidade de propagação dos incêndios florestais. Por fim, a ocorrência de precipitação é um fator capaz de determinar a intensidade, duração e espalhamento do fogo (SOARES; BATISTA, 2017). Pode-se concluir, que a sazonalidade exerce forte influência sobre os incêndios florestais, visto que todos esses fatores atmosféricos variam de acordo com a estação do ano.

Os incêndios florestais são classificados de acordo com a predominância do estrato florestal que está servindo como combustível. O mais comum é o incêndio superficial, que se alastra pelo piso da floresta, queimando os materiais combustíveis até 1,80 metro de altura, ultrapassando esta marca apenas esporadicamente. Não raro dão origem aos outros tipos de incêndios. Sempre se iniciam a partir de um pequeno ponto e têm a tendência de se propagar de forma aproximadamente circular no início. Porém, conforme se propaga, o fogo acaba sofrendo influência dos ventos, do relevo e da disposição e inflamabilidade do material combustível. Por fim o incêndio toma uma forma definida por esses fatores, possuindo partes com características diferentes. A primeira parte é a frente ou cabeça, que é a parte que avança com maior velocidade por estar a favor do vento; a segunda parte é a cauda ou base que se propaga vagarosamente na direção oposta à da cabeça e do próprio vento, podendo até mesmo se extinguir naturalmente; a terceira parte são os flancos ou laterais do incêndio, que se propagam de maneira perpendicular às outras duas partes. A velocidade das chamas varia ao longo dos flancos, sendo maior próximo à cabeça e menor próximo à cauda (SOARES; BATISTA, 2017). Novas cabeças podem surgir a partir dos flancos, muito em função da direção e velocidade do vento, da disponibilidade de material combustível, das características do relevo e do tipo de cobertura do solo.

Outra classificação atribuída aos incêndios é a subterrânea. Estes são os menos comuns e se propagam através dos acúmulos de húmus e turfa existentes abaixo do solo. São mais comuns em áreas costumeiramente alagadiças que se encontram secas momentaneamente. Devido à escassez de oxigênio, eles se propagam muito lentamente e não exibem chamas, liberando também pouca fumaça. Como consequência, torna-se difícil

detectar e combater esta classe de incêndios, que costuma possuir alta intensidade e potencial de destruição. São extremamente danosos para as raízes das plantas e a biota do solo (SOARES; BATISTA, 2017).

Os incêndios de copa se caracterizam por se propagar através das copas das árvores, situando-se predominantemente acima de 1,80 metro de altura. Na maioria das vezes, são iniciados a partir de incêndios superficiais, podendo também ocorrer o inverso, ou seja, suas fagulhas podem também causar incêndios superficiais. Para que ocorra, é necessário que a floresta seja suficientemente densa para que, com a ação do vento, as chamas possam se propagar sem atingir o piso da floresta. Esta classe de incêndios é praticamente incontrollável, sendo capaz de formar grandes colunas de fogo que consomem grande parte, senão toda a folhagem das plantas, causando alta mortalidade (SOARES; BATISTA, 2017).

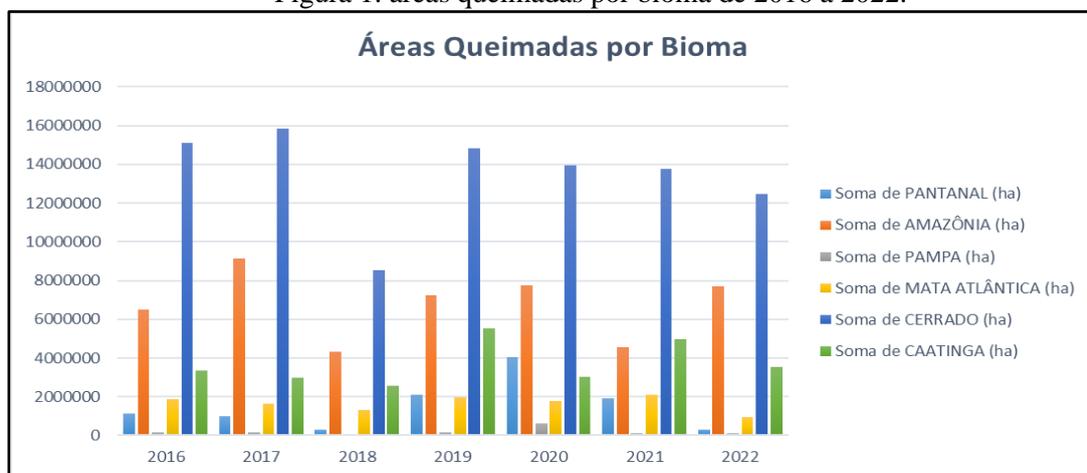
### 3.3 O fogo no Cerrado

Segundo IBGE, o bioma Cerrado possui uma área de 203,9 milhões de hectares, cobrindo aproximadamente 24% do território brasileiro. Isto o coloca como o segundo maior bioma, em área, no Brasil. Seu domínio se estende por 12 estados brasileiros e no Distrito Federal, estando presente em 1389 municípios (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). O Cerrado no sentido amplo, engloba cinco fitofisionomias, sendo elas: Cerradão, Cerrado Estrito Senso, Campo Cerrado, Campo Sujo e Campo limpo, todas com diferentes proporções de hábitos em suas floras (MIRANDA, 2010).

É considerado o ambiente savânico de maior biodiversidade do planeta, apresentando mais de 7000 espécies de plantas vasculares, distribuídas pelos hábitos herbáceos, arbustivos, arbóreos e cipós. Este número é maior que a maioria das regiões do planeta. Corroborando com a alcunha de *hotspot* da biodiversidade, 44% das espécies vegetais é endêmica ao bioma (MENDONÇA *et al*, 1998), sendo que por meio de levantamento florístico de árvores e arbustos feito em 315 locais, apenas 300 espécies foram observadas em mais de 8 localidades e 614 eram encontradas em apenas uma (RATTER *et al.*, 2003). Também foram observadas aproximadamente 2566 espécies de vertebrados, distribuídos entre mamíferos, aves, répteis, anfíbios e peixes, em níveis variados de endemismo com destaque para os anfíbios, com 28% das espécies encontradas. Cerca de 50% das espécies de répteis e 49% das espécies de aves existentes no Brasil estão presentes no Cerrado (KLINK; MACHADO, 2005). Apesar dos números serem pouco conhecidos, estima-se que haja aproximadamente 90000 espécies de invertebrados (DIAS, 1992).

O Cerrado é um ambiente inflamável que tem no fogo um importante fator direcionador das características fitossociológicas dos seus ecossistemas. O regime climático é tropical-quente-subúmido com característica sazonal, sendo uma estação fria e seca que vai de maio a setembro e uma estação quente e chuvosa contemplando outubro a abril (EMBRAPA CERRADOS, 2012). A precipitação média anual do domínio é de 1394 mm, variando entre 650 e 2250 mm. A temperatura média anual é de 23,7°C, com mínima de 15,6°C e máxima de 28,1°C (PAIVA, 2021). A densidade arbórea predominantemente menor que florestas tropicais e vasta presença de gramíneas geram acúmulo de biomassa durante a estação chuvosa que acaba perdendo umidade durante a estação seca e se tornando combustível para o fogo (RISSI *et al*, 2017). Isto associado ao período de estiagem, presença de ventos, relevo acidentado e ação antrópica recorrente, resulta em vários fatores que incrementam a probabilidade da ocorrência e espalhamento de incêndios florestais. O Cerrado teve a maior área queimada entre todos os biomas brasileiros, somando 94520900 hectares de 2016 a 2022, conforme demonstrado na Figura 1 (INPE, 2023).

Figura 1: áreas queimadas por bioma de 2016 a 2022.



Fonte: do autor (2023).

A composição, estrutura e funcionalidade das comunidades do Cerrado é fortemente influenciada pela ocorrência do fogo (CHIMINAZZO, 2020). A presença de incêndios florestais pelos últimos 25 milhões de anos no Cerrado contribuiu para que o desenvolvimento de mecanismos de manutenção da biodiversidade frente a este distúrbio (CIANCIARUSO ;SILVA; BATALHA, 2009). Através de adaptações morfofisiológicas e de estratégias reprodutivas, foram sendo selecionadas as espécies vegetais presentes atualmente no bioma (CHIMINAZZO, 2020). A ocorrência recorrente do fogo inclusive contribuiu para que as espécies próprias do Cerrado não fossem substituídas por formações

florestais tropicais (THONICKE, *et al.*, 2001).

As espécies vegetais presentes no Cerrado possuem atributos funcionais que impactam na sua capacidade adaptativa à ocorrência do fogo. Isso pode ocorrer através de características que, indiretamente, influenciam no seu crescimento, estratégias reprodutivas e/ou resiliência (VIOLLE *et al.*, 2007). Devido à alta variedade de ecossistemas, habitats, hábitos e espécies do Cerrado, diferentes atributos funcionais foram selecionados ao longo do tempo, se apresentando as mais diversas adaptações à ocorrência do fogo. Enquanto algumas espécies possuem mecanismos que favorecem a germinação após a passagem do fogo, outras resistem a ele rebrotando as estruturas danificadas (PAUSAS; KEELEY, 2014).

São reconhecidos dois tipos de adaptações que podem permitir a continuidade das espécies vegetais em locais onde o fogo ocorre: adaptação de regeneração, que se caracteriza por pela morte de um indivíduo em decorrência da passagem do fogo, seguida da colonização por outro indivíduo da mesma espécie, garantindo a regeneração desta espécie na comunidade (GRUBB, 1977); e também adaptação de persistência, caracterizado pela capacidade dos indivíduos não sucumbirem à passagem do fogo e serem capazes de substituir as estruturas danificadas e manter a espécie presente no sistema (BOND; MIDGLEY, 2001).

Uma das estratégias de persistência observadas é o acúmulo de biomassa abaixo do solo, que possui alto potencial isolante, permitindo que estas estruturas sofram pouco ou nenhum dano (BRADSTOCK; AULD, 1995). A presença de gemas viáveis e recursos energéticos estocados abaixo do solo possibilitam que ocorra a rebrota a partir destas estruturas subterrâneas (PAUSAS *et al.*, 2018). Incêndios com alta frequência ou alta intensidade consomem muita biomassa aérea, dificultando a rebrota das gemas localizadas acima do solo. Sendo assim a rebrota a partir de gemas subterrâneas se mostra predominante nestas circunstâncias (CLARKE *et al.*, 2013). Esta estratégia de rebrota pode ser observada principalmente em plantas de hábito herbáceo e subarbuscivo (PAUSAS *et al.*, 2018).

A rebrota, no entanto, também pode ocorrer a partir de gemas localizadas na parte aérea da planta, principalmente nas axilas das folhas, nos ápices dos ramos (gema apical) e também em gemas acessórias (BURROWS *et al.*, 2008). Estas estruturas podem permanecer dormentes e viáveis por períodos prolongados (CREMER, 1972) e posteriormente ao incêndio originarem novos tecidos como folhas, inflorescências ou ramos (BELL *et al.*, 1999). A intensidade dos incêndios é preponderante na definição da posição da rebrota (BELLINGHAM; SPARROW, 2000), sendo que geralmente ela ocorre a partir de ramos ou caules jovens nos casos de incêndios de baixa intensidade. Apesar de ser menos frequente que a rebrota subterrânea, também não é raro ocorrer rebrota aérea em incêndios de média ou

alta intensidade (BURROWS *et al.*, 2008).

Para que gemas aéreas possam originar novos tecidos, elas devem ser protegidas do fogo por meio de alguma estratégia, evitando que se tornem inviáveis (CHARLES-DOMINIQUE *et al.*, 2015). Uma destas estratégias é o desenvolvimento de casca espessa, que pode ser associada à proteção contra herbivoria e também aos incêndios florestais (PAUSAS, 2015; ROSELL *et al.*, 2014; ROSELL, 2016). As plantas cuja parte aérea se encontra em contato direto com as chamas apresentam casca grossa, composta de cortiça, capaz de atenuar os danos causados pelo fogo (DANTAS; PAUSAS, 2013). Existe uma correlação positiva entre indivíduos cujas cascas são grossas e a sua permanência nos ambientes onde ocorrem incêndios florestais (DANTAS; PAUSAS, 2013; GIGNOUX *et al.*, 1997; LAWES *et al.*, 2011). Sendo observada também uma relação entre a quantidade de casca e a recorrência do fogo, onde as plantas mais expostas ao distúrbio tendem a produzir mais casca, sendo essa uma forma confiável de aferir sobre a frequência de ocorrência dos incêndios (CHARLES-DOMINIQUE *et al.*, 2017).

Além da casca, há outras estruturas que também podem exercer a função de proteger as gemas aéreas, como membranas, estípulas e tricomas (BELL *et al.*, 1999; BURROWS *et al.*, 2008). Estes últimos são muito presentes em espécies que ocorrem onde existe o distúrbio do fogo, podendo talvez oferecer algum grau de proteção contra as altas temperaturas (CHIMINAZZO, 2020), já que entre outras funções os tricomas também podem ser capazes de reter umidade através da secreção de compostos hidrofílicos (LUSA *et al.*, 2015). Também existem as espécies que procuram evitar o contato direto das chamas ou do calor mais intenso com suas gemas através do investimento em incremento de altura (DANTAS; PAUSAS, 2013).

Outra estratégia utilizada pelas plantas para que sua espécie se mantenha no ambiente após a passagem do fogo é a regeneração a partir de sementes. As altas temperaturas estão associadas à quebra de dormência física em espécies cujas sementes são impermeáveis. Isso se deve a rupturas do tegumento que permitem a entrada da água e iniciam o processo germinativo (BASKIN; BASKIN, 2001; HODGKINSON, 1991). A fumaça produzida durante o incêndio também pode contribuir para a germinação de sementes de determinadas espécies. Sendo observado o aumento na taxa de germinação de sementes expostas à solução de fumaça (JÄGER *et al.*, 1996). Em casos de sementes sem dormência física ou com dormência física rompida, o contato com substâncias contidas nas cinzas também pode favorecer a germinação (FLEMATTI *et al.*, 2004; LIGHT *et al.*, 2009; MOREIRA *et al.*, 2010).

O fogo pode ainda ser um gatilho para os processos reprodutivos de algumas espécies de plantas, induzindo a floração e frutificação (RIBEIRO; RIBEIRO, 2007) e contribuindo para abertura de frutos (COUTINHO, 1977).

É necessário também levar em conta o regime de queima, ou seja, a frequência e a época do ano em que ocorrem os incêndios florestais, considerando também a sua intensidade. A intensidade do fogo pode causar diferentes taxas de mortalidade para diferentes espécies e também diferentes estágios de desenvolvimento da planta (MOREIRA *et al.*, 2010). Fogos de baixa intensidade podem causar baixas taxas de mortalidade no extrato arbóreo, causando danos mais severos em plantas de menor porte. Por outro lado, incêndios de elevada intensidade podem chegar a alterar toda a comunidade vegetal, induzindo a sua substituição (BRONCANO *et al.*, 2005). A frequência de ocorrência de incêndios também é um fator importante, pois caso seja elevada, pode levar a perda de resiliência da vegetação (DELITTI *et al.*, 2005). Nos casos em que elevadas intensidade e frequência se combinam, geralmente pela interferência humana, até mesmo espécies que possuem adaptações ao fogo podem perder sua competitividade no ambiente (FERNANDES; RIGOLOT, 2007), sendo que o desaparecimento é ainda mais evidente entre as espécies que não possuem mecanismos notáveis de adaptação (LLORET; VILÀ, 2003).

Além da frequência e intensidade, também a duração dos incêndios influencia na sua nocividade ao ambiente. Longos períodos de contato com altas temperaturas pode prejudicar a floração e germinação de sementes da maioria das espécies, matando desde as mais sensíveis até as mais adaptadas. As alterações no regime do fogo causam, por consequência, uma variação da capacidade de sobrevivência das espécies adaptadas (MEDEIROS; MIRANDA, 2005). Desta forma, o fogo deixa de ser apenas mais um elemento natural do bioma e passa a causar impactos negativos como a perda de biodiversidade geral, aumento da compactação e perda de nutrientes do solo por lixiviação e erosão e emissão de gases do efeito estufa (ROCHA; NASCIMENTO, 2021).

As alterações no regime do fogo são associadas principalmente à ação antrópica. Incêndios são provocados sem que sejam avaliadas as condições meteorológicas e características ecológicas e fisiológicas da vegetação. Desta forma aumenta-se a ocorrência de incêndios deletérios ao ambiente (MIRANDA *et al.*, 1993).

### **3.4 Manejo integrado do fogo em áreas naturais protegidas**

O manejo integrado do fogo (MIF) é um conjunto de técnicas que considera os

aspectos ecológicos, socioculturais e de manejo para a utilização de queimas prescritas associadas à prevenção e combate aos incêndios florestais, com a finalidade de reduzir os danos provocados pelos eventos descontrolados de queima (SCHMIDT *et al*, 2016). A correta utilização do fogo como ferramenta de prevenção de grandes incêndios depende de se atentar para condições meteorológicas desfavoráveis ao espalhamento excessivo, preparação de equipe e equipamentos necessários para o controle e conhecimento sobre os locais mais estratégicos para se aplicar a queima controlada. A intenção do uso da queima prescrita, em geral, é reduzir o aporte de biomassa e criar aceiros para evitar o espalhamento excessivo dos incêndios que possam vir a ocorrer em períodos críticos, onde seus danos ao ambiente seriam muito maiores (MARTINS, 2017).

Em 2014 foi implementado o Programa Piloto de Manejo Integrado do Fogo no Cerrado, onde foram testadas técnicas de aplicação de queima prescrita em 3 unidades de conservação de proteção integral dentro deste bioma. São elas o Parque Nacional da Chapada das Mesas, Parque Estadual do Jalapão e Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Os eventos de queima prescrita apresentaram menor intensidade, menor velocidade de propagação e menor quantidade de combustível consumido, resultando em distúrbios menos danosos (SCHMIDT *et al*, 2016).

A lei 12651 de 21 de maio de 2012 determina que as queimas controladas podem ser utilizadas dentro de unidades de conservação, desde que isso esteja de acordo com seu plano de manejo e que seu órgão gestor conceda a aprovação da aplicação. Também é estabelecido que esta técnica somente poderá ser aplicada caso as características evolutivas do ambiente estejam associadas à ocorrência do fogo (BRASIL, 2012).

### **3.5 O monitoramento de focos de calor e incêndios florestais no Brasil**

A persistência de incêndios no Brasil e o dano que estes causam ao meio ambiente levaram à necessidade de monitoramento do território nacional com a intenção de detectar estes eventos. Desde a década de 1980, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais realiza o desenvolvimento e aprimoramento de um sistema operacional de detecção de queimadas (SOUZA *et al*, 2004). Em 1989 foi criado o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO) através do Decreto 97635, atribuindo ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a responsabilidade de coordenar as atividades relacionadas à prevenção, controle e combate aos incêndios florestais (RAMOS, 1995). A partir de 1998, este sistema foi vinculado ao IBAMA (SOUZA

*et al.*, 2004).

A detecção por parte do INPE se dá através do sensoriamento remoto, que permite obter informações a respeito da interação entre os objetos na superfície terrestre e a energia eletromagnética, sendo que cada alvo produz seu comportamento espectral específico. Sendo assim, é possível estudar os objetos sem a necessidade da presença *in loco* (GRANEMANN; CARNEIRO, 2009), possibilitando o monitoramento de grandes áreas a um custo relativamente baixo. Os focos de calor são detectados principalmente por sensores AVRHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) e MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que são capazes de captar a temperatura de objetos na superfície terrestre. Estes sensores estão embarcados nos satélites de órbita polar NOAA, TERRA e AQUA e nos satélites de órbita geostacionária GOES e METEOSAT (PEREIRA, 2009).

O INPE disponibiliza atualmente diversos produtos relacionados à detecção de incêndios. Entre eles estão os dados históricos de focos de calor utilizados neste trabalho, que podem ser filtrados por localidade, data, satélites e biomas. Os dados podem ser baixados em formato kml, shapefile, CSV ou GeoJSON e estão disponíveis no site <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>.

### 3.6 Índices de perigo de incêndio

Os índices de perigo de incêndio são ferramentas úteis para o planejamento e distribuição de recursos e esforços no combate e prevenção de incêndios florestais. São metodologias que levam em conta fatores variáveis que tratam de condições atmosféricas, podendo ser favoráveis ou não à ocorrência dos incêndios e que influenciam na probabilidade de ocorrência de incêndios e a sua propagação. É importante ressaltar que a maioria dos incêndios são de origem antrópica, porém as condições atmosféricas podem facilitar ou dificultar o início da combustão e o espalhamento do fogo. Alguns índices de perigo de incêndio são de caráter acumulativo, pois levam em conta o fato de que quanto mais dias sem chuva ou com chuvas de baixa intensidade, maior é a suscetibilidade da biomassa do ambiente à combustão. Exemplos desse tipo de índice são a Fórmula de Monte Alegre (FMA) e a Fórmula de Monte Alegre Ajustada (FMA+). Outra categoria de índices de incêndio são os não acumulativos, que levam em conta apenas as condições atmosféricas do momento de interesse. Um exemplo desse tipo de índice é o de Angstron (SOARES; BATISTA, 2017).

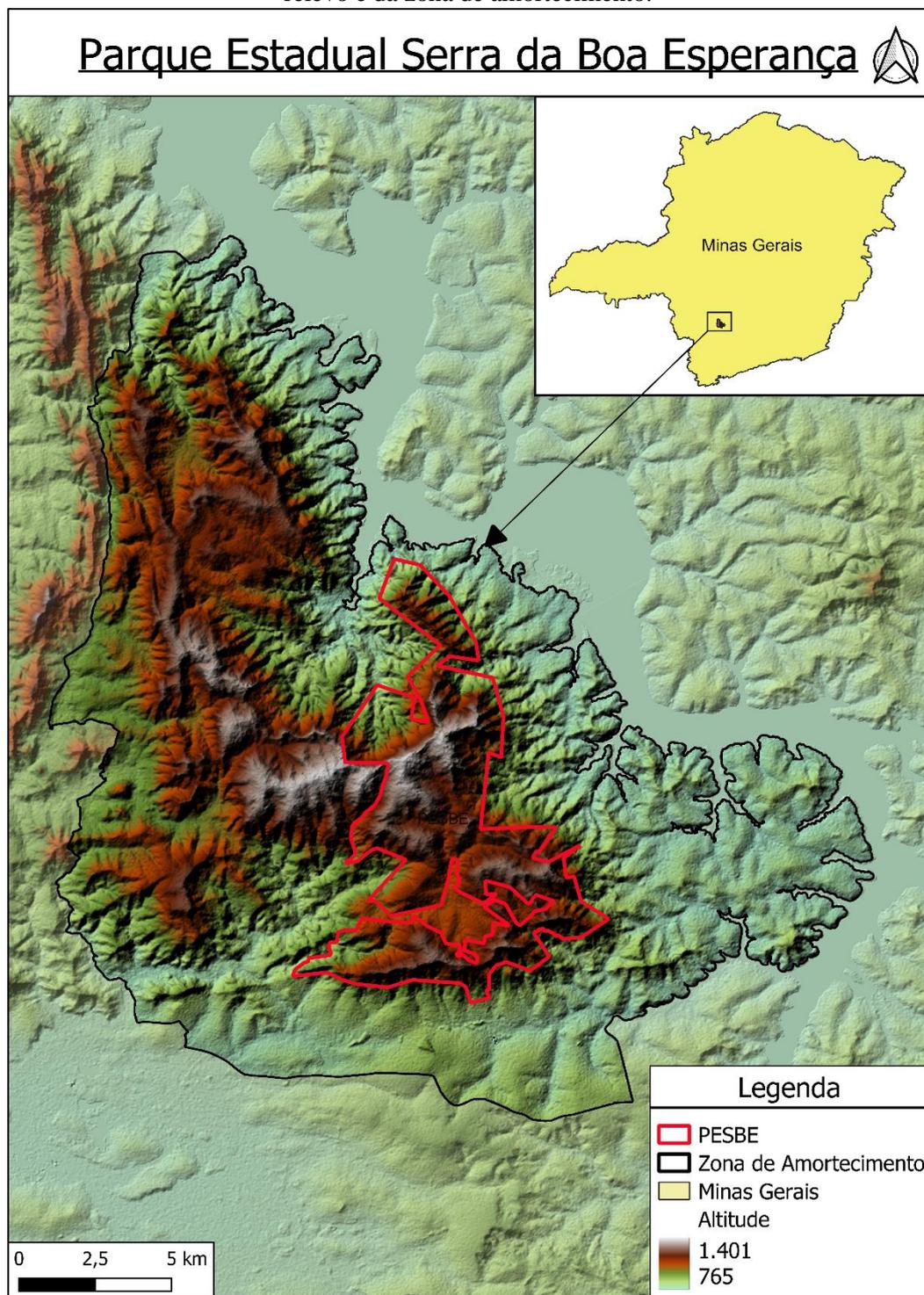
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudo

O Parque Estadual Serra da Boa Esperança, mais conhecido pela sigla PESBE, está situado na região sul do estado de Minas Gerais, nos municípios de Boa Esperança e Ilícinea. Trata-se de uma unidade de proteção integral, ou seja, é admitido apenas o uso indireto dos seus recursos com exceções estabelecidas por lei. Foi instituído pelo Decreto nº 44520 de 16 de maio de 2007 e é gerido pelo Instituto Estadual de Florestas, IEF. Suas coordenadas limítrofes são 20°52'55.11"S e 45°40'13.20"O ao norte, 21°01'35.36"S e 45°39'40.62"O ao sul, 20°57'25.67"S e 45°36'36.74"O ao leste e 20°57'46.86"S e 45°42'28.58"O a oeste, totalizando uma área oficial de 5873,99 hectares (Figura 2). A Zona de Amortecimento (ZA) do PESBE, com 38034,64 hectares, também foi considerada no estudo por ser uma importante faixa de uso mais restrito do solo, que contribui diretamente para a manutenção dos ecossistemas do Parque (REIS; COSTA, 2017). A área de interesse total do presente trabalho engloba o PESBE e a ZA, totalizando 43908,63 hectares.

O PESBE está localizado dentro do domínio do bioma Cerrado, porém o domínio mata atlântica também é próximo, caracterizando a região como um ecótono entre os dois biomas com predominância do Cerrado (ALVES, 2019). Dentro do parque se encontram diversas fitofisionomias, como Cerrado, campo, campo rupestre e floresta estacional semidecidual, a depender da altitude, tipo de solo e disponibilidade hídrica (IEF, 2021).

Figura 2: Geolocalização do Parque Estadual Serra da Boa Esperança (PESBE), com detalhamento do relevo e da zona de amortecimento.



Fonte: do autor (2023).

## 4.2. Bases de Dados

### 4.2.1. Incêndios florestais no PESBE e dados georreferenciados

A equipe responsável pela gestão do parque incluindo gerente e agentes de parque

disponibilizaram os arquivos referentes às ocorrências de incêndios de 2016 até 2022. Esses arquivos incluem as ROI's (Registro de Ocorrência de Incêndios), que apresentam dados importantes sobre o evento, incluindo a data, forma de detecção, pessoas e equipamentos empregados para o combate e a área atingida, entre outras. Também foram disponibilizados polígonos em formato .kml delimitando a área atingida pelos incêndios, assim como fotos registradas *in loco*. Os polígonos que representam as áreas queimadas foram delimitados em campo através do uso de aparelho GPS Garmin 60Csx. Foi realizado um caminhamento ao longo da área queimada para coleta de pontos que depois foram processados no software Qgis.

#### 4.2.2. Mapas de uso e cobertura do solo

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, executado pelo MapBiomias, agrega especialidades em sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, cobertura do solo e classificação baseada em machine learning para tratar imagens Landsat e disponibilizar através do Google Earth Engine, arquivos raster de uso e cobertura do solo (CAPANEMA; SANCHES; ESCADA, 2019). Os arquivos raster disponíveis na Coleção 7 contemplam o uso e cobertura do solo até 2020, portanto, para o presente trabalho, foi possível realizar a análise dos incêndios que aconteceram de 2016 a 2019, demonstrando como se dava o mosaico de elementos de cobertura do solo que compunham os locais antes e depois de serem queimados.

Os mapas de uso e cobertura do solo foram obtidos através do download da Coleção 7 do MapBiomias, com dados disponíveis até 2020. Foi utilizada a toolkit do Google Earth Engine para realizar o download dos rasters de cobertura do solo dos anos de 2015 até 2020, para todo o estado de Minas Gerais (MAPBIOMAS, 2023). Posteriormente, foram recortados utilizando os shapefiles das áreas queimadas. Para cada incêndio, foram gerados dois rasters de cobertura do solo, um do ano anterior e um do ano posterior ao distúrbio. Desta forma foi possível comparar as áreas de cobertura do solo antes e depois da ocorrência dos incêndios de 2016 a 2019 e obter as diferenças de classe de uso presentes e de seus quantitativos em área de ocupação.

#### 4.2.3. Focos de calor

Os dados históricos de focos de calor detectados pelo INPE foram baixados no formato shapefile para todo o estado de Minas Gerais nos anos de 2016 até 2022. Foram filtrados os focos de calor que foram detectados nas datas de ocorrência dos incêndios e

também dentro de sua área com um buffer adicional de 400 metros. Este buffer foi adicionado em função do deslocamento de até 400 metros dos focos de calor (INPE, 2023).

#### 4.2.4. Dados meteorológicos e de precipitação

Os dados meteorológicos e de precipitação utilizados como entrada nas equações que geraram os diferentes índices de perigo de incêndio foram adquiridos no portal NASA Power (NASA POWER, 2023). Estes dados estão disponíveis a nível de hora, dia, mês e ano a partir da inserção de coordenadas de latitude e longitude de um ponto georreferenciado, que no presente trabalho foi o centroide dos polígonos que representam os incêndios. Informações meteorológicas, tais como umidade, velocidade do vento e temperatura foram obtidas a partir de dados de reanálise, utilizando os modelos de assimilação GMAO MERRA-2 e GEOS 5.12.4 FP-IT da NASA. A resolução espacial dos dados meteorológicos é de  $0,5^\circ \times 0,625^\circ$  em latitude e longitude (BOSILOVICH *et al.*, 2016).

Para os dados de precipitação, foi aplicado o algoritmo IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals) nos dados coletados pelos satélites da missão GPM (Global Precipitation Measurement) da NASA sobre chuvas e nevascas em todo o mundo (NASA POWER, 2023).

O download dos dados no portal NASA Power foi realizado inserindo as coordenadas dos centroides gerados a partir de cada polígono representante da ocorrência de incêndio utilizando QGIS. O intervalo de tempo estabelecido foi de no mínimo os 6 meses anteriores até a data de ocorrência do incêndio. Desta forma foi possível estabelecer os incêndios no espaço e no tempo para a aquisição dos dados a nível de hora, conforme necessário para a aplicação dos índices de risco de incêndio.

### 4.3. Análise dos dados

Todos os arquivos foram processados utilizando os softwares QGIS 3.22.11, ArcGIS PRO licença trial e Excel 2019. A projeção padrão utilizada para manipular os arquivos vetoriais e matriciais foi a SIRGAS 2000 Zona 23S.

#### 4.3.1. Mapa de densidade Kernel

A partir dos focos de calor posicionados dentro das áreas queimadas e seus buffers, foi elaborada uma estimativa de densidade Kernel para confrontar com o mapa de recorrência de incêndios construído a partir da sobreposição dos polígonos dos incêndios.

Foi utilizado o complemento Density Analysis Toolbar do QGIS para gerar um raster

cujos valores das células são calculados a partir dos focos. Foi gerada uma vizinhança circular a partir de cada foco, onde os valores decrescem de 1 a 0 do centro para a borda do raio. Cada pixel do raster corresponde à soma dos valores de todas as zonas de influência que se sobrepõem (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017). Desta forma é possível obter a densidade de pontos relacionando os focos de incêndio entre si, espacialmente. A equação aplicada é a seguinte:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} * \sum_{i=1}^n K \frac{(x-x_i)}{h} \quad (1)$$

Onde K = função de kernel; h = raio de busca; x = posição do centro de cada célula do raster de saída;  $x_i$  = posição do ponto i proveniente do centróide de cada polígono; n = número total de focos de calor e d é igual a 1, por se tratar de uma análise univariável.

Para utilização da ferramenta, foi necessário definir qual seria o raio de influência de cada ponto, para depois sobrepô-los. Para isto foi aplicado o Método da Distância Aleatória ou RDMean (NHONGO *et al.*, 2019), representado pela seguinte equação:

$$RDmean = \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (2)$$

Onde A = área total do local de estudo e N = número de pontos inseridos para a geração da Estimativa de Densidade Kernel.

O resultado do RDmean deve então ser multiplicado por 2 para fornecer o tamanho do raio de influência dos pontos (KOUTSIAS *et al.*, 2004).

O raster com os valores de densidade foi então reclassificado através do Método Natural Breaks de Janks que determina o melhor arranjo de valores em diferentes classes, minimizando o desvio intraclasse e maximizando o desvio interclasse (MCMASTER; MCMASTER, 2002). Esta classificação foi utilizada em estudos relacionados à probabilidade de ocorrência e capacidade de espalhamento de incêndios florestais com confiabilidade considerável (HYSA; BAŞKAYA, 2018).

#### 4.3.2. Índices de Perigo de Incêndio

O primeiro índice de perigo de incêndio utilizado foi a Fórmula de Monte Alegre (FMA), demonstrada abaixo:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_i} \quad (3)$$

Onde  $H_i$  = umidade relativa do ar (%) medida às 13 horas do dia i; e n = número de dias sem chuva igual ou maior que 13,0 mm.

Outro índice também aplicado às áreas de interesse foi a Fórmula de Monte Alegre Ajustada (FMA+), que foi desenvolvida a partir da FMA, demonstrada abaixo:

$$FMA+ = \sum_{i=1}^n \frac{100}{H_i} e^{0,04v} \quad (4)$$

Onde  $H_i$  = umidade relativa do ar (%) medida às 13 horas do dia  $i$ ;  $n$  = número de dias sem chuva igual ou maior que 13,0 mm;  $e$  = base dos logaritmos naturais; e  $v$  = velocidade do vento (m/s) às 13 horas do mesmo dia.

Ambos os índices supracitados são acumulativos e portanto devem respeitar as restrições de somatória da Tabela 1. A somatória foi feita iniciando no dia posterior ao último evento de chuva com volume maior que 13 mm no local do incêndio e terminando no dia da ocorrência do incêndio. Obtendo assim o perigo acumulado de incêndio no intervalo de tempo de interesse de acordo com a metodologia dos índices.

Tabela 1: Tabela de restrições à somatória, em função da quantidade de chuva no dia anterior.

CHUVA DO DIA (mm)	MODIFICAÇÃO NO CÁLCULO
$\leq 2,4$	Nenhuma.
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar a FMA do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar a FMA do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar a FMA do dia.
$> 12,9$	Interromper a somatória e recomeçar o cálculo no dia seguinte ou quando a chuva cessar.

Fonte: do autor (2023).

Por fim, a depender do valor resultante para FMA e FMA+, cada um será alocado em uma determinada faixa de perigo de incêndio, conforme os intervalos de valores e as classes da Tabela 2.

Tabela 2: Classes de perigo de incêndio para FMA e FMA+.

Valores		Classe de risco
FMA	FMA+	
$\leq 1$	$\leq 3$	Nulo
1,1 a 3,0	3,1 a 8,0	Pequeno
3,1 a 8,0	8,1 a 14,0	Médio
8,1 a 20,0	14,1 a 24,0	Alto
$> 20,0$	$> 24,0$	Muito Alto

Fonte: do autor (2023).

Outro índice, não acumulativo, testado para os locais de interesse foi o de Angstron:

$$B = 0,05H - 0,1(T - 27) \quad (6)$$

Onde H = umidade relativa do ar (%) às 13 horas e T = temperatura do ar (°C) no mesmo horário.

Caso o valor resultante seja menor que 2,5, há perigo de incêndio. Se for maior não há perigo de incêndio.

O método utilizado para determinar o desempenho dos índices é chamado de skill score. Este método confronta as previsões de incêndios e não incêndios com as ocorrências observadas (SAMPAIO, 1999). A definição do ponto de ocorrência e não ocorrência de incêndios, para os índices FMA e FMA+ foi baseado em suas classes, onde “Nulo” e “Pequeno” foram demarcados como previsões de não ocorrência de incêndio e “Médio”, “Alto” e “Muito Alto” foram considerados como previsão de ocorrência de incêndios (NUNES *et al*, 2010). O confronto entre a quantidade de dias com e sem incêndios observados e os dias com previsão de ocorrência ou não ocorrência de incêndios é organizado conforme a tabela de contingência, demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Tabela de contingência, para organização e confronto entre as previsões e observações de incêndios.

Índice		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	a	b	N2 = a + b
	Não incêndio	c	d	N4 = c + d
Total observado	-	N1 = a + c	N3 = b + d	N = a + b + c + d

Fonte: do autor (2023).

Onde a = incêndios observados que foram previstos; b = previsões de incêndios que não se confirmaram; c = incêndios observados que não foram previstos; d = previsões de não ocorrência de incêndios que foram confirmadas; N1 = total de dias com incêndios observados; N2 = total de dias com incêndios previstos; N3 = total de dias sem incêndios observados; N4 = total de dias com previsão de não ocorrência de incêndios; N = total de dias observados/testados pelos índices.

Os valores foram inseridos nas equações abaixo para obtenção do skill score (SS) e porcentagem de sucesso (PS):

- $G = a + d$  (previsões acertadas);
- $H = N \cdot (1 - p) \cdot (1 - q) + N \cdot p \cdot q$  (número esperado de acertos);
- Onde:  $N$  = número total de observações;  $p = N1 / N$ ; e  $q = N2 / N$ .
- $SS = (G - H) / (N - H)$  (valor do skill score);
- $PS = (G / N) * 100$  (porcentagem de sucesso).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 contém os 14 incêndios que foram registrados pelo Instituto Estadual de Florestas pela equipe responsável pelo PESBE no período analisado. Além da sua localização, os incêndios também foram organizados em relação à época do ano e local em que ocorreram. No Cerrado, o período considerado como seco vai de maio a setembro (EMBRAPA CERRADOS, 2012), sendo o restante dos meses considerados chuvosos.

Tabela 4: Incêndios ocorridos no período estudado, organizados em ordem cronológica, sendo ZA: Zona de Amortecimento e PESBE: Parque Estadual Serra da Boa Esperança.

DATA	ÁREA (ha)	ESTAÇÃO	LOCAL
17/09/2016	111,31	Seca	ZA
24/10/2016	224,07	Chuva	ZA
24/09/2017	905,83	Seca	ZA
01/01/2018	4,02	Chuva	ZA
02/03/2018	164,43	Chuva	ZA
16/01/2019A	4,58	Chuva	PESBE
16/01/2019B	24,28	Chuva	PESBE
17/07/2019	0,27	Seca	PESBE
18/09/2019	219,11	Seca	ZA
04/10/2019	5,53	Chuva	ZA
16/02/2021	10,99	Chuva	PESBE
10/08/2021	31,07	Seca	ZA
14/10/2021	92,91	Chuva	ZA
25/10/2022	1980,10	Chuva	PESBE/ZA
Total	<b>3778,50</b>	-	-

Fonte: do autor (2023).

### 5.1 Sazonalidade e localização dos incêndios

A sazonalidade é um fator importante tanto para a ocorrência quanto para o

comportamento do fogo no Cerrado, pois implica em condições meteorológicas mais ou menos favoráveis ao distúrbio. A Tabela 5 demonstra o comportamento dos incêndios em função dos anos e época do ano. Levando em conta o quantitativo em área, 66,45% da área queimada total ocorreu durante o período considerado chuvoso e 33,55% ocorreu no período seco. É importante notar, no entanto, que 2.302,61 hectares foram queimados no mês de outubro, que é considerado uma transição da época seca para a chuvosa, totalizando 60,94% da área queimada. Sendo assim, apenas 5,51% das áreas queimadas ocorreram no período chuvoso fora do momento de transição (outubro). Ao realizar uma análise quantitativa da contagem de incêndios, percebe-se que 5 ocorreram no período seco e 9 ocorreram no período chuvoso, sendo que desses 9, 4 foram no mês de transição (outubro).

Tabela 5: Incêndios agrupados por ano e época do ano.

ESTAÇÕES	CHUVA		SECA		TOTAIS ANUAIS	
	ÁREA (ha)	CONTAGEM	ÁREA (ha)	CONTAGEM	ÁREA TOTAL (ha)	CONTAGEM TOTAL
2016	224,07	1	111,31	1	335,38	2
2017	0	0	905,83	1	905,83	1
2018	168,45	2	0	0	168,45	2
2019	34,38	3	219,38	2	253,76	5
2021	103,91	2	31,07	1	134,97	3
2022	1980,10	1	0	0	1980,10	1
<b>TOTAL GERAL</b>	2510,91	9	1267,59	5	3778,50	14

Fonte: do autor (2023).

Somados, os incêndios que ocorreram na época seca e na transição totalizaram 94,49% da área queimada. Comparando os incêndios ocorridos na época seca com os da época chuvosa excetuando o mês de outubro, ambos totalizam 5 incêndios cada, porém uma área muito maior foi queimada na seca. Isolando os 4 incêndios que ocorreram no mês de outubro, percebe-se um alto nível de periculosidade demonstrado pela enorme área queimada.

O fogo no Cerrado possui uma sazonalidade natural, que é marcada pelos raios que ocorrem no início da estação chuvosa (RAMOS-NETTO; PIVELLO, 2000) e atingem uma vegetação, principalmente herbácea, que se encontra altamente inflamável devido ao longo período de seca (STOCKS; TROLLOPE, 1993). Além disso, as atividades humanas têm causado alterações no regime do fogo, sendo um fator significativo para a modificação da época em que ocorrem os incêndios (RAMOS-NETTO; PIVELLO, 2000). No caso do Jardim Botânico de Brasília, também situado no bioma Cerrado, os incêndios de origem antrópica ocorrem principalmente de agosto a outubro, que são considerados meses secos no estudo de Corrêa (2007). Apesar de não ser possível afirmar com certeza a causa, 8 dos 14 incêndios

do PESBE ocorreram nestes mesmos meses, totalizando 3.569,93 hectares, ou 94,48% da área queimada. Pode-se ao menos, sugerir que as principais causas para estes incêndios são a atividade humana e a ocorrência de raios.

Outro fator importante a ser analisado é o local de ocorrência dos incêndios (Tabela 6), tendo em vista que o PESBE é uma Unidade de Conservação Integral, e portanto não existem atividades agropecuárias no seu interior. Na Zona de Amortecimento, no entanto, estas atividades são frequentes e por este motivo existe uma presença humana muito maior. O incêndio ocorrido em 2022, de grande magnitude, atingiu tanto áreas dentro do PESBE quanto na Zona de Amortecimento. A área queimada neste evento específico, foi dividida entre os locais para proporcionar uma análise mais realista do total das áreas queimadas no PESBE e na ZA. No entanto ainda se trata de um incêndio contínuo, que foi contabilizado como ocorrido no PESBE pois sua ignição inicial ocorreu dentro do Parque.

Tabela 6: Incêndios agrupados por ano e localidade (dentro do Parque - PESBE, ou na Zona de Amortecimento - ZA); o \* é referente ao incêndio de 2022 que atingiu ambos os locais, mas foi contabilizado na coluna do PESBE.

LOCAIS	PESBE		ZA		TOTAIS ANUAIS	
	ÁREA (ha)	CONTAGEM	ÁREA (ha)	CONTAGEM	ÁREA TOTAL (ha)	CONTAGEM TOTAL
2016	0	0	335,38	2	335,38	2
2017	0	0	905,83	1	905,83	1
2018	0	0	168,45	2	168,45	2
2019	29,13	3	224,64	2	253,78	5
2021	10,99	1	123,98	2	134,97	3
2022	1370,90	1*	609,20	0	1980,10	1
<b>TOTAL GERAL</b>	1411,02	5*	2367,48	9	3778,50	14

Fonte: do autor (2023).

Do total de incêndios ocorridos, 33,33% foram dentro do PESBE, totalizando uma proporção de 37,34% da área total queimada. Os incêndios restantes (66,67%) ocorreram na Zona de Amortecimento e totalizaram 62,66% da área queimada.

A maior ocorrência de incêndios na ZA pode ser um indício da relação do fogo com a presença humana no local. O regime antrópico do fogo predomina no Cerrado em relação ao natural (MISTRY, 1998) e os incêndios de origem humana ocorrem com maior frequência que os naturais (COUTINHO, 1990). O uso indevido do fogo é aplicado como uma forma de manejar o solo (SOARES; BATISTA, 2002), para expansão da fronteira agrícola (COUTINHO, 2005) e também para o manejo de pastagens, induzindo a renovação dos brotos

para alimentação bovina (FRANÇA *et al.*, 2007).

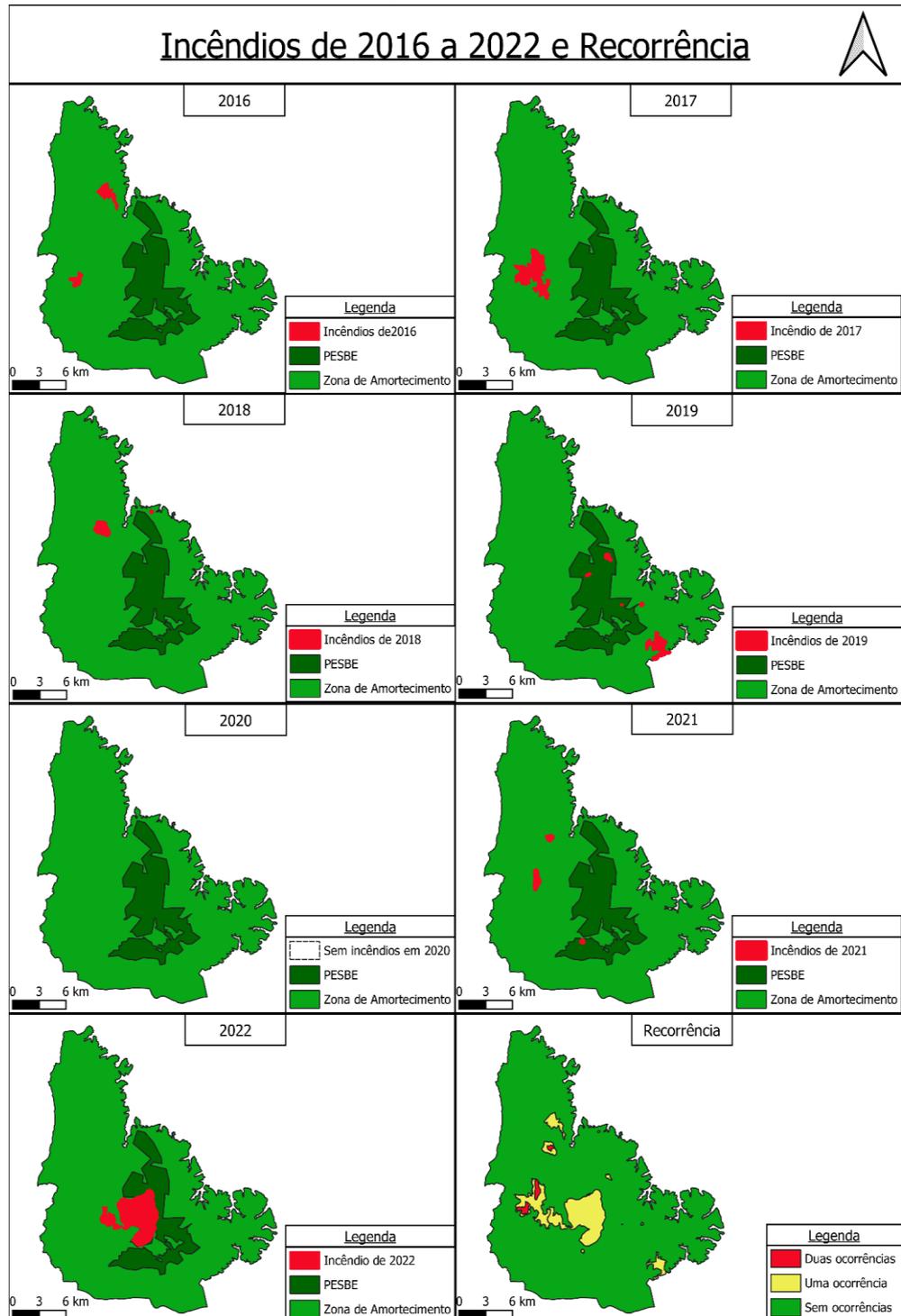
Relacionando a época e local de ocorrência dos incêndios, é possível perceber que dos 9 incêndios que ocorreram na época seca (normalmente atribuídos a atividade humana) e no mês de outubro (podendo ser atribuídas a raios ou atividade humana), 33,33% foram dentro do PESBE e os outros 66,67% foram na ZA. Isto reforça uma possível relação entre as ocorrências de incêndios e a proximidade de atividade humana, no entanto, importante pontuar que incêndios ocorridos dentro do parque também poderiam ser atribuídos a causas antrópicas como visitantes e incendiários, da mesma forma que incêndios ocorridos na ZA podem ter origens naturais.

## 5.2 Geolocalização e mapa de recorrência dos incêndios

Os polígonos referentes aos incêndios foram convertidos para shapefile e geolocalizados em relação ao Parque e a sua Zona de Amortecimento. Também foi gerado um mapa onde houve a sobreposição dos incêndios para determinar a recorrência destes eventos dentro do local de interesse (Figura 3). Foi possível constatar que a recorrência máxima observada foram 2 incêndios no mesmo local dentro do intervalo de tempo estipulado. Dentre os 43.908,63 hectares estudados, 40.353,05 hectares não tiveram incêndios detectados, 3.332,66 hectares tiveram 1 incêndio e 222,92 hectares passaram por incêndios 2 vezes.

É notável que as áreas com recorrência 2 estão todas restritas à Zona de Amortecimento. Fazendo uma análise mais minuciosa, é possível perceber que os incêndios de 17/09/2016 e 24/09/2017 ocorreram durante a época seca e geraram uma sobreposição com 96,37 hectares. Uma situação como essa, reforça a possibilidade de causa antrópica. O mesmo raciocínio pode ser aplicado à sobreposição, de 92,73 hectares, gerada entre os incêndios de 24/09/2017 e de 14/10/2021. Outra sobreposição com 32,07 hectares ocorreu entre os incêndios de 02/03/2018 e 10/08/2021, assim como uma de área muito pequena (1,75 hectares) entre os incêndios de 24/09/2017 e 25/10/2022.

Figura 3: Localização dos incêndios detectados no PESBE e ZA de 2016 a 2022 e mapa de recorrência.



Fonte: do autor (2023).

Segundo Eiten (1972), os incêndios ocorrem, em média, com intervalos de 2 a 3 anos no Cerrado. Outra constatação é de que o regime atual de fogo no Cerrado se dá com intervalos de 1 a 4 anos devido à ação antrópica e de 3 a 9 anos naturalmente (MIRANDA,

2010). A área de interesse segue a mesma tendência do bioma no qual está inserida, pois dentre as áreas que foram queimadas 2 vezes, foi possível observar intervalos de 1 ano (incêndio em 2016 e 2017), 3 anos (incêndio em 2018 e 2021), 4 anos (incêndio em 2017 e 2021) e 5 anos (2017 e 2022).

Incêndios tão recorrentes podem causar alterações na estrutura florística e funcional de determinado local, já que podem ser necessários até 8 anos para que esta estrutura retorne à normalidade (MACHIDA, 2021). Com relação ao estrato lenhoso, levando em conta indivíduos com diâmetro maior ou igual a 3 centímetros, o intervalo de 4 anos se mostrou insuficiente para a recuperação no local atingido pelo incêndio segundo Gomes *et al* (2014). Devido ao crescimento lento das plantas lenhosas do Cerrado, o fogo acaba sendo capaz de impedir o estabelecimento de rebrotas e plantas jovens (FRANCO, 2002). Isto ocorre porque quando os incêndios atingem o mesmo local com muita frequência, não há tempo hábil para que as plantas desenvolvam um súber espesso o suficiente para se proteger (LAWES *et al.*, 2011) ou altura suficiente para evitar o contato das chamas com suas gemas apicais (MIRANDA, 2010). Períodos superiores a 4 anos sem incêndio, podem aumentar a chance de sobrevivência dos indivíduos até a idade reprodutiva, dependendo da intensidade do próximo incêndio, da taxa de crescimento de cada espécie e da sua adaptabilidade a este distúrbio (HOFFMAN *et al.*, 2020).

As altas temperaturas também podem afetar as características físico-químicas do solo, causando instabilidade dos agregados e reduzindo a cobertura vegetal. Com isto o solo fica exposto ao impacto da chuva e outras intempéries, podendo levar à ocorrência de erosão e perda de solo (SWANSON, 1981; BENAVIDES-SOLORIO; MC DONALD, 2001). A severidade dos danos varia de acordo com o regime e intensidade do fogo, assim como a suscetibilidade do solo à erosão (SWANSON, 1981). Portanto, os danos não se restringem apenas às áreas cobertas por vegetação nativa, atingindo também os locais onde há atividade agropecuária.

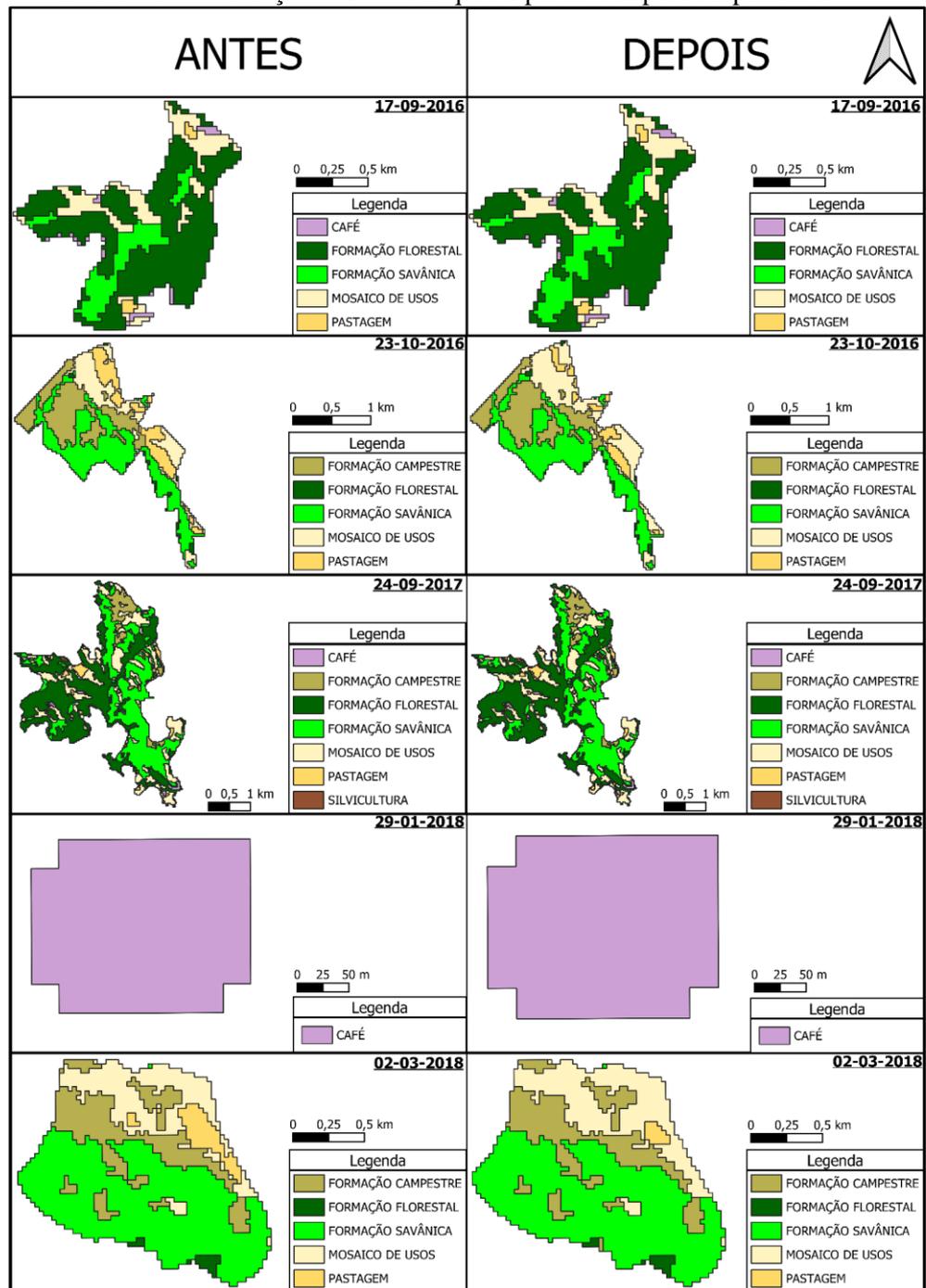
Nos locais onde a recorrência de incêndios foi 2, pode ter havido uma diminuição dos indivíduos do estrato lenhoso, alterando assim a composição florística do local. Assim como pode ter acontecido uma redução no banco de sementes, conforme evidências encontradas pelos autores supracitados. A depender de vários fatores, como o tempo de permanência do incêndio, quantidade de serrapilheira, composição florística e o grau de exposição das sementes ao calor, os danos ao banco de sementes pode variar, alterando também a capacidade das espécies se manterem no ambiente (ANDRADE *et al.*, 2002). Existem evidências de que o estrato herbáceo-arbustivo pode ser favorecido pela ocorrência de

incêndios em relação ao estrato arbóreo (COUTINHO, 1990), reforçando a hipótese de que este distúrbio afeta a composição das espécies presentes no ambiente assim como afeta suas possibilidades reprodutivas.

### **5.3 Cobertura do solo antes e depois dos incêndios**

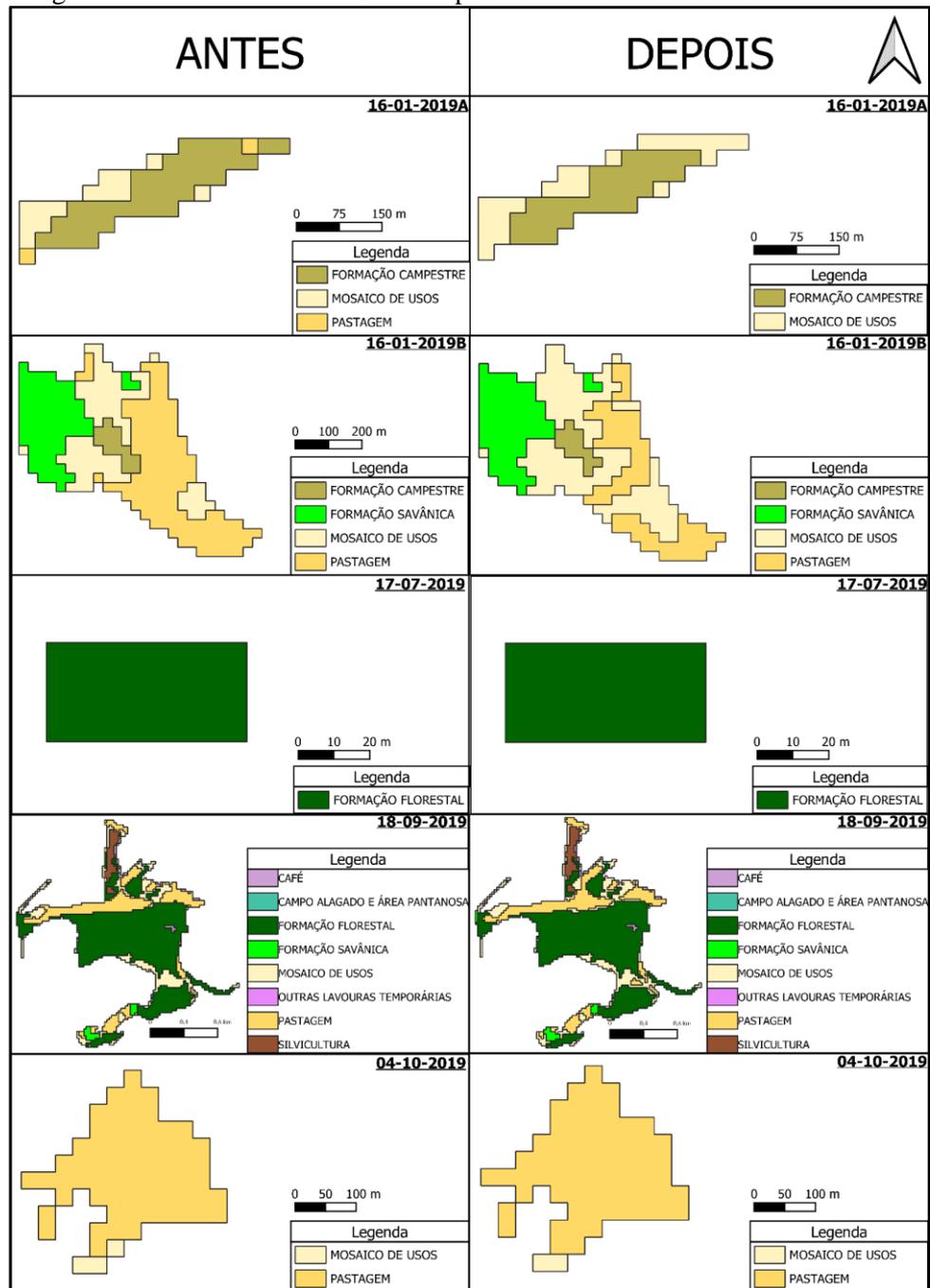
Como é possível observar nas Figuras 4 e 5, não houveram mudanças muito expressivas entre as paisagens antes e depois dos incêndios. Seguindo a classificação do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, executado pelo MapBiomas, as classes de uso do solo observadas na área de estudo foram: Café, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Mosaico de Usos, Outras Lavouras Temporárias, Pastagem e Silvicultura. As classes Campo Alagado e Área Pantanosa e Outras Lavouras Temporárias não apresentaram mudanças de área antes e depois dos incêndios.

Figura 4: Cobertura do solo antes e depois da ocorrência dos incêndios de 2016 a 2018. Nomenclatura e coloração baseadas naquelas praticadas pelo MapBiomias.



Fonte: do autor (2023).

Figura 5: Cobertura do solo antes e depois da ocorrência dos incêndios de 2019.



Fonte: do autor (2023).

Uma forma de entender melhor as transformações causadas pela ocorrência de incêndios e até mesmo fazer inferências sobre sua possível origem é avaliando o uso e cobertura do solo. Por isso foi elaborada a Tabela 7 que descreve as mudanças de área de acordo com a classe de cobertura do solo para cada incêndio de 2016 a 2019.

Tabela 7: Alterações de área para cada classe de cobertura do solo antes e depois da ocorrência de cada incêndio (continua).

INCÊNDIO	TIPO	USO DO SOLO	ÁREA ANTES (ha)	ÁREA DEPOIS (ha)	MUDANÇA (ha)
17/09/2016	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	20,66	21,66	1,00
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO FLORESTAL	70,41	66,90	-3,51
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	15,97	18,82	2,84
	AGROPECUÁRIA	CAFÉ	2,84	2,51	-0,33
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	1,51	1,51	0,00
23/10/2016	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	43,93	57,32	13,39
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO FLORESTAL	3,68	3,77	0,08
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	84,59	84,42	-0,17
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	62,25	61,83	-0,42
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	29,37	16,48	-12,89
24/09/2017	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	188,58	193,68	5,10
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO FLORESTAL	332,59	328,16	-4,43
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	297,63	300,14	2,51
	AGROPECUÁRIA	SILVICULTURA	2,84	1,92	-0,92
	AGROPECUÁRIA	CAFÉ	9,95	9,78	-0,17
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	53,28	52,61	-0,67
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	20,99	19,57	-1,42
29/01/2018	AGROPECUÁRIA	CAFÉ	3,77	3,77	0,00
02/03/2018	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	30,45	36,98	6,53
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO FLORESTAL	2,18	2,18	0,00
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	87,67	87,42	-0,25
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	35,97	35,89	-0,08
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	8,12	1,92	-6,19
16/01/2019A	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	1,09	1,92	0,84
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	3,09	2,43	-0,67
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	0,17	0,00	-0,17
16/01/2019B	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	6,52	10,62	4,10
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	5,94	5,94	0,00
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	1,17	1,09	-0,08
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	10,62	6,61	-4,01

Tabela 7: Alterações de área para cada classe de cobertura do solo antes e depois da ocorrência de cada incêndio (conclusão).

18/09/2019	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	31,01	36,03	5,02
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO FLORESTAL	130,41	126,73	-3,68
	AGROPECUÁRIA	OUTRAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS	0,17	0,17	0,00
	FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO SAVÂNICA	3,26	3,59	0,33
	AGROPECUÁRIA	SILVICULTURA	6,94	7,61	0,67
	AGROPECUÁRIA	CAFÉ	2,84	2,68	-0,17
	FORMAÇÕES NATURAIS	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,17	0,17	0,00
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	43,80	41,63	-2,17
04/10/2019	AGROPECUÁRIA	MOSAICO DE USOS	0,25	0,17	-0,08
	AGROPECUÁRIA	PASTAGEM	5,35	5,44	0,08

Fonte: do autor (2023).

As classes de cobertura do solo são divididas pelo Map Biomas em dois grandes grupos, sendo eles Agropecuária para atividades antrópicas e Formações Naturais para as diferentes fitofisionomias nativas. A Tabela 8 demonstra apenas as classes de cobertura que registraram mudanças sem discriminá-las por incêndio, sendo então as somas totais de modificação de cada classe.

Tabela 8: Alterações de área agrupadas por classe de cobertura do solo, somando as mudanças totais de todos os incêndios.

TIPO DE USO	COBERTURA	ÁREA ANTES (ha)	ÁREA DEPOIS (ha)	MUDANÇA (ha)
AGROPECUÁRIA	CAFÉ	19,40	18,73	-0,67
	MOSAICO DE USOS	322,49	358,38	35,88
	PASTAGEM	119,92	93,16	-26,77
	SILVICULTURA	9,78	9,53	-0,25
<b>AGROPECUÁRIA Total</b>	-	471,77	479,96	<b>8,20</b>
FORMAÇÕES NATURAIS	FORMAÇÃO CAMPESTRE	155,77	153,84	-1,92
	FORMAÇÃO FLORESTAL	539,43	527,89	-11,54
	FORMAÇÃO SAVÂNICA	495,06	500,33	5,27
<b>FORMAÇÕES NATURAIS Total</b>	-	1190,43	1182,23	<b>-8,20</b>

Fonte: do autor (2023).

É possível observar que as classes com maior modificação foram Mosaico de Usos, Pastagem, Formação Florestal e Formação Savânica, em ordem decrescente.

Analisando ambas as tabelas foi possível perceber locais onde, após a ocorrência de

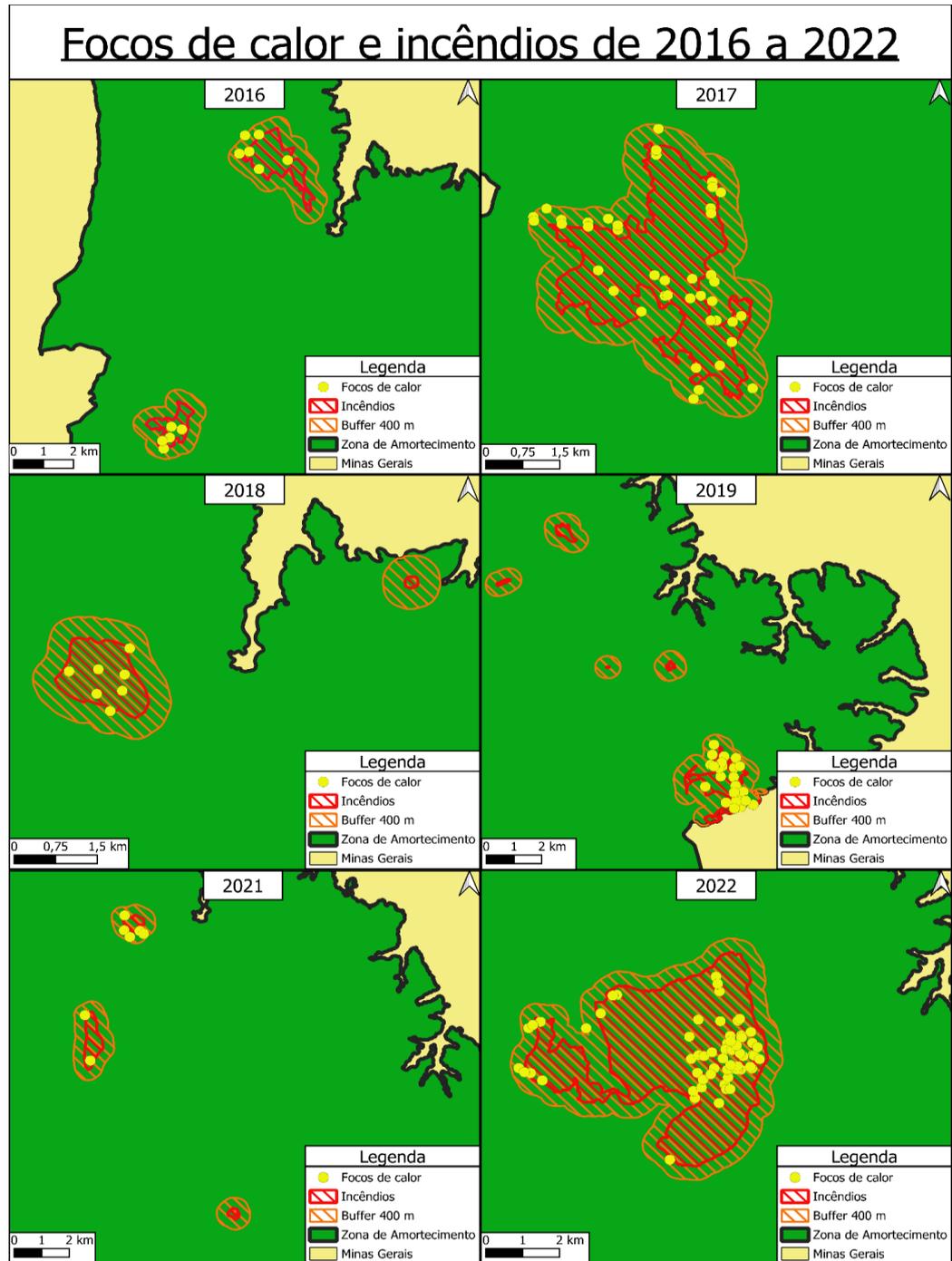
incêndios, deixaram de ser cobertos por florestas e passaram a ser ocupados por savanas (Cerrado). A ocorrência de incêndios, dependendo da intensidade e recorrência, pode ser um fator que facilita a introdução de espécies savânicas em locais antes dominados por espécies florestais (PINHEIRO; MONTEIRO, 2008). A ocorrência dos incêndios pode ter favorecido a colonização por espécies savânicas tolerantes ao distúrbio, (UHL; KAUFFMAN, 1990). Também pode ocorrer uma perda na diversidade e densidade do banco de sementes de espécies presentes em formações florestais após a passagem do fogo, fato relatado por outros autores (MELO; DURIGAN; GORESTEIN, 2007), sendo acompanhado de um incremento da densidade de sementes herbáceas e gramíneas, provavelmente provenientes dos ambientes adjacentes.

Outro fator que chama atenção é o fato de que muitas áreas de pastagem foram substituídas por mosaicos de usos do solo, reforçando a hipótese de que o fogo vem sendo utilizado como forma de manejo do uso do solo. No entanto, não é possível afirmar que o fogo esteja sendo utilizado extensiva e premeditadamente para expansão da fronteira agrícola, visto que ocorreu uma transferência de uso do solo de apenas 8,20 hectares do tipo Formações Naturais para o tipo Agropecuária. Por mais que seja uma perda de habitat natural, trata-se de uma modificação quantitativamente pequena.

#### **5.4 Focos de calor do INPE**

No presente trabalho, levando em conta as especificidades inerentes como a forma do incêndio, o relevo e as condições meteorológicas, os focos de calor detectados convergiram apenas com os incêndios que apresentaram área igual ou maior que 31,07 hectares. Apesar da afirmação de que qualquer incêndio com 30 metros de frente e 0,5 metro de largura possa ser detectado (VASCONCELOS *et al.*, 2005), os 6 menores incêndios, todos com 24,28 hectares ou menos, não tiveram focos de calor detectados no interior de sua área ou no buffer de 400 metros. Deste modo apenas 57,14% dos incêndios ocorridos apresentaram focos de calor detectados, porém estes representam 98,69% da área total queimada. Gontijo *et al.* (2011) também observaram melhor desempenho na proporção de detecções quando analisado o quantitativo em área ao invés do número de incêndios.

Figura 6: Geolocalização dos incêndios, seus buffers e dos focos de calor detectados pelo INPE.



Fonte: do autor (2023).

A Tabela 9 demonstra a quantidade de focos detectados para cada incêndio, assim como o intervalo de tempo decorrido entre a primeira e última detecções pelo INPE.

Tabela 9: Número de focos, primeira e última detecções e intervalo de tempo entre as detecções, para cada um dos incêndios.

DATA	ÁREA (ha)	Nº DE FOCOS	1ª DETECÇÃO	ÚLTIMA DETECÇÃO	DURAÇÃO (horas)
17/09/2016	111,31	5	17/09/2016 17:12	19/09/2016 16:34	47:22
24/10/2016	224,07	6	24/10/2016 13:39	24/10/2016 17:18	03:39
24/09/2017	905,83	49	24/09/2017 18:09	26/09/2017 17:07	46:58
01/01/2018	4,02	0	-	-	-
02/03/2018	164,43	7	02/03/2018 03:42	02/03/2018 16:35	12:53
16/01/2019A	4,58	0	-	-	-
16/01/2019B	24,28	0	-	-	-
17/07/2019	0,27	0	-	-	-
18/09/2019	219,11	27	18/09/2019 21:13	19/09/2019 16:44	19:31
04/10/2019	5,53	0	-	-	-
16/02/2021	10,99	0	-	-	-
10/08/2021	31,07	6	10/08/2021 15:56	11/08/2021 04:51	12:55
14/10/2021	92,91	2	14/10/2021 04:00	14/10/2021 16:28	12:28
25/10/2022	1980,10	61	25/10/2022 03:57	27/10/2022 16:41	60:44
<b>Total</b>	<b>3778,50</b>	<b>163</b>	-	-	-

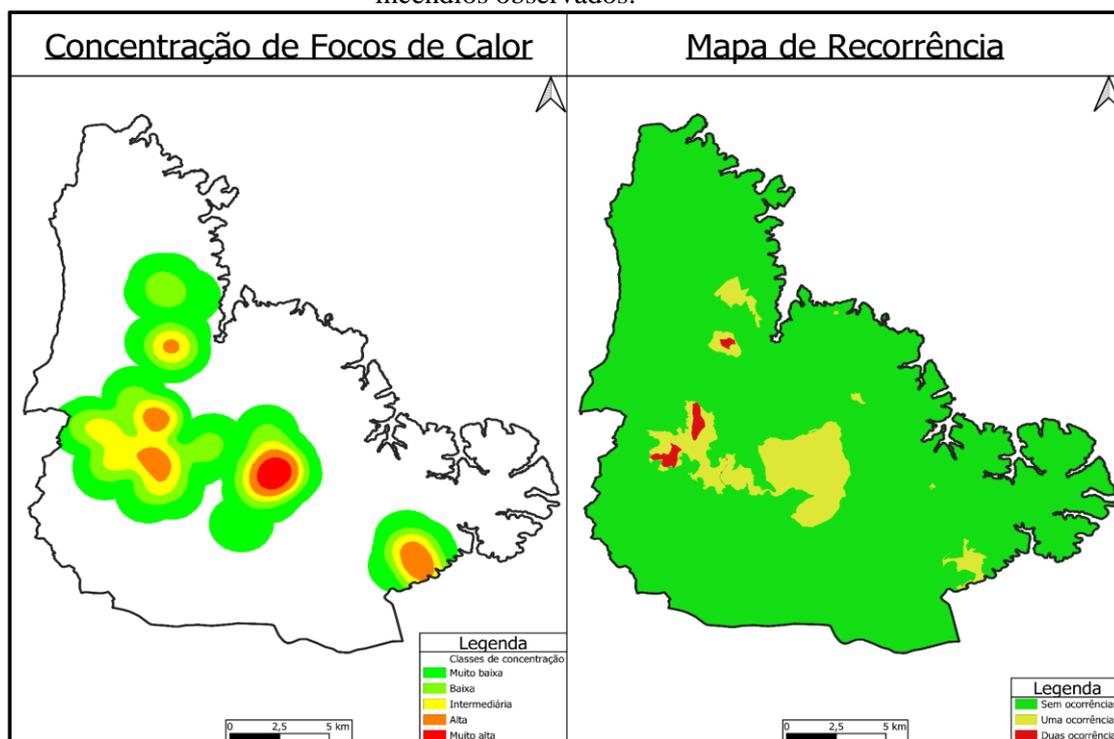
Fonte: do autor (2023).

Fatores atmosféricos como a presença de nuvens ou fumaça podem bloquear temporariamente o sinal da queimada, atrapalhando que este seja detectado no momento da passagem dos satélites. Incêndios rápidos podem ocorrer fora dos horários de passagem dos satélites, tornando impossível que sejam detectados (VASCONCELOS *et al*, 2005). Também pode existir uma relação com o reduzido tamanho da área queimada (GONTIJO *et al.*, 2011) que pode indicar uma menor duração temporal dos incêndios. Foi observada uma relação positiva entre a área queimada e o intervalo de tempo entre a primeira e a última detecção do foco de calor pelo INPE. Os incêndios com maiores áreas, tiveram uma maior amplitude temporal de detecções, gerando também um maior número de focos de calor. Houveram, no entanto, algumas exceções com os incêndios de 2016, onde o de menor área apresentou maior amplitude temporal e menos focos de calor detectados e o de menor área apresentou um comportamento oposto, ou seja, uma amplitude temporal muito menor com mais focos de calor detectados. O incêndio de 14/10/2021 apresentou uma amplitude temporal de 12:28 horas e apenas 2 focos de calor detectados. Estas exceções podem ser explicadas também pela intensidade das chamas, a localização dos incêndios e as condições atmosféricas (VASCONCELOS *et al*, 2005).

### 5.5 Mapa de densidade Kernel para os focos de calor do Inpe

O raio de influência calculado e utilizado para geração da Figura 7 foi de 1,64 quilômetro e os níveis de densidade foram divididos em 5 classes: Muito Baixa, Baixa, Intermediária, Alta e Muito Alta.

Figura 7: Comparação entre o mapa de densidade Kernel e o mapa de recorrência de incêndios observados.



Fonte: do autor (2023).

É possível perceber que a classe Muito Alta não coincidiu com os locais onde houve recorrência 2. Isto se deve ao fato de que o incêndio que teve maior número de focos de calor detectados foi o de 2022, provavelmente por ter sido o de maior área e amplitude temporal de detecção. Contudo ainda houveram convergências entre a classe “Alta” e locais onde houveram 2 incêndios. Isto se explica pois, apesar de terem sido detectados menos pontos para cada incêndio, quando somados conseguem gerar valores maiores de densidade devido à proximidade (são focos oriundos de incêndios que aconteceram nos mesmos locais).

A Estimativa de Densidade Kernel apresentou acertos de ordem espacial e proporcionou uma visão temporal dos eventos de incêndio, porém ainda houveram discrepâncias com relação à recorrência observada dos incêndios, justamente pelas limitações de detecção causadas pelos fatores supracitados e pela distorção causada pelo enorme número

de focos detectados para o incêndio de 2022. Desta forma, o Estimador de Kernel é capaz de apontar “hotspots”, indicando os locais de maior concentração espacial e temporal do evento estudado (SANT’ANA *et al.*, 2014), neste caso os focos de calor detectados pelo INPE.

## 5.6 Índices de perigo de incêndio

Os dados meteorológicos de reanálise do NASA Power foram aplicados nas equações de cada índice de perigo de incêndio estudado e resultaram na Tabela 10.

Tabela 10: Valores dos índices FMA, FMA+ e Angstrom com suas respectivas classes de perigo para cada incêndio.

Índices Incêndio	FMA		FMA+		Angstrom	
	Valor	Risco	Valor	Risco	Valor	Risco
17/09/2016	297,02	Muito alto	331,48	Muito alto	0,92	Há perigo
23/10/2016	17,24	Alto	18,75	Alto	1,97	Há perigo
24/09/2017	405,27	Muito alto	447,78	Muito alto	0,64	Há perigo
29/01/2018	27,33	Muito alto	29,85	Muito alto	3,79	Não há perigo
02/03/2018	8,53	Alto	9,42	Médio	2,86	Não há perigo
16/01/2019A	62,28	Muito alto	813,24	Muito alto	3,98	Não há perigo
16/01/2019B	26,96	Muito alto	29,66	Muito alto	2,76	Não há perigo
17/07/2019	190,01	Muito alto	210,46	Muito alto	2,02	Há perigo
18/09/2019	390,21	Muito alto	430,19	Muito alto	0,14	Há perigo
04/10/2019	22,63	Muito alto	24,27	Muito alto	1,13	Há perigo
16/02/2021	8,90	Alto	9,84	Médio	2,76	Não há perigo
10/08/2021	203,12	Muito alto	224,51	Muito alto	1,37	Há perigo
14/10/2021	4,67	Médio	5,06	Pequeno	2,57	Não há perigo
25/10/2022	31,43	Muito alto	34,75	Muito alto	2,31	Há perigo

Fonte: do autor (2023).

Os índices de perigo de incêndio acumulativos FMA e FMA+ apresentaram concordância de 78,57%, ou seja, atribuíram a mesma classe de periculosidade para 11 dos 14 dias em que ocorreram os incêndios. Isto é esperado pois ambas as fórmulas foram desenvolvidas utilizando dados da mesma região e apresentam similaridades matemáticas (NUNES *et al.*, 2010). A fórmula de Angstrom, por sua vez, atribuiu a existência de periculosidade de incêndio a 57,14% dos dias de ocorrência de incêndio.

Foram montadas as tabelas de contingência para cada índice de perigo de incêndio estudado, resultando nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11: Número de dias com e sem incêndios observados versus número de dias com e sem previsão de incêndios de acordo com FMA.

FMA		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	14	587	601
	Não incêndio	0	23	23
Total observado		-	14	610

Fonte: do autor (2023).

Tabela 12: Número de dias com e sem incêndios observados versus número de dias com e sem previsão de incêndios de acordo com FMA+.

FMA+		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	13	553	566
	Não incêndio	1	57	58
Total observado		-	14	610

Fonte: do autor (2023).

Tabela 13: Número de dias com e sem incêndios observados versus número de dias com e sem previsão de incêndios de acordo com Angstron.

Angstron		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	8	318	326
	Não incêndio	6	292	298
Total observado		-	14	610

Fonte: do autor (2023).

Seguindo a metodologia de cálculos, foi gerada a Tabela 14, que demonstra os resultados obtidos.

Tabela 14: Valores de skill score (SS) e porcentagem de sucesso (PS) para cada índice de perigo de incêndio.

Índice	Skill Score	Acerto (%)
FMA	0,0018	5,93
FMA+	0,0011	11,22
Angstron	0,6565	48,08

Fonte: do autor (2023).

Os resultados de FMA e FMA+ foram muito aquém daqueles obtidos em outros trabalhos desenvolvidos em outras localidades, como os valores originais de FMA para Monte Alegre, PR, encontrados por Sampaio (1999) que são skill score = 0,0607 e porcentagem de sucesso = 36,92%. No município de Agudos, SP, Sampaio (1999) encontrou para FMA+ os valores de skill score = 0,0877 e porcentagem de sucesso = 46,26% (NUNES *et al*, 2010). No caso do PESBE tanto FMA quanto FMA+ apresentaram superestimativa dos dias com previsão de incêndio, ou seja, o número de previsões de dias com incêndios foi muito maior do que o número de dias em que realmente ocorreram os distúrbios. Apesar da FMA ter previsto a ocorrência de incêndio nos 14 dias em que realmente ocorreram, e a FMA ter previsto em 13 dias, os índices de acerto nas previsões permaneceram baixos devido à superestimativa de dias com incêndios que não se confirmaram pelas observações, impactando negativamente os resultados finais de skill score e porcentagem de sucesso.

O índice de Angstron apresentou o melhor desempenho, com valor de skill score igual a 0,6565 e a porcentagem de sucesso 48,08%, assemelhando-se aos resultados obtidos por Sampaio (1999) para FMA e FMA+. Apesar de ter previsto apenas 8 dos 14 incêndios, o índice de Angstron obteve uma taxa de acertos muito maior quando observados os dias em que previu a não ocorrência de incêndio. White e Ribeiro (2010) encontraram para o índice de Angstron valores de skill score = 0,582 e 0,053 para o estado do Sergipe e para o Parque Nacional Serra de Itabaiana, respectivamente. Foram encontradas porcentagens de acerto = 82% e 70% para os mesmos locais, respectivamente. Estes valores são mais altos que os encontrados para o PESBE, porém existe uma concordância corem relação ao melhor desempenho do índice de Angstron quando comparado a FMA e FMA+ em ambos os trabalhos. Outro fato que requer atenção é que os 8 incêndios previstos pelo índice de Angstron representam 92% da área total queimada. O índice de perigo de incêndio de Angstron apresentou o melhor desempenho na precisão de suas previsões superando os índices acumulativos FMA e FMA+ encontrados neste trabalho.

O desempenho inferior dos índices para previsões no PESBE pode ser em função das características climáticas encontradas no local, que são diferentes daquelas observadas nos locais onde os índices foram desenvolvidos. Outro fator importante é a fonte de dados, como não existe estação meteorológica no PESBE, foi necessário utilizar dados NASA Power, que são fruto de reanálise e por isso podem ser menos precisos que dados obtidos in loco.

É importante salientar que os índices de perigo de incêndio levam em conta apenas fatores meteorológicos, que apesar de influenciarem a ocorrência e espalhamento dos incêndios, não são a principal causa do distúrbio. A maioria dos incêndios é de origem

antrópica (SOARES; BATISTA, 2017). Isso explica a ocorrência de fogo mesmo em dias onde a previsão do índice de Angstrom foi de que não haveria incêndios. Dentre os índices de perigo de incêndio testados, com os dados meteorológicos disponíveis, o índice de Angstrom se mostrou o mais adequado para o PESBE devido à maior taxa de acertos.

## 6. CONCLUSÃO

Durante o período estudado, a maioria dos incêndios ocorreram na zona de amortecimento, tanto em termos de número de ocorrências quanto no quesito área queimada. Os meses de setembro e outubro apresentaram o maior número de incêndios e concentraram a maioria dos grandes incêndios. Todos os locais com recorrência de 2 incêndios estavam localizados na zona de amortecimento. Estes fatos combinados indicam provável origem antrópica. Quanto ao uso e ocupação do solo nos locais dos incêndios de 2016 a 2019, foi possível quantificar a conversão de 8,20 hectares de formações naturais em locais utilizados para atividades agropecuárias, indicando que os incêndios antrópicos provavelmente não foram premeditados com intenção de expansão da fronteira agrícola devido à pequena escala da área convertida. As formações florestais apresentaram maior perda de área, enquanto que as formações savânicas apresentaram um aumento de área, podendo se tratar de uma colonização por parte das espécies do Cerrado mais adaptadas ao distúrbio. As pastagens sofreram as maiores perdas dentre os usos antrópicos do solo, enquanto que o mosaico de usos agrícolas ganhou área após os incêndios, sugerindo que o fogo pode ter sido utilizado como ferramenta de manejo da cobertura do solo para troca da cultura implantada. Apenas os incêndios com área maior que 31 hectares foram detectados por meio dos focos de calor do INPE, tendo sido observada também uma tendência de que quanto maior o incêndio ou mais duradouro, mais focos de calor podem ser detectados pelos sensores dos satélites. O mapa de densidade Kernel forneceu informações importantes com relação à concentração dos pontos detectados, convergindo parcialmente com o mapa de recorrência de incêndios. Os padrões observados e resultados obtidos neste trabalho podem futuramente servir como insumo para a elaboração de um plano de manejo integrado do fogo, que é citado no plano de manejo do parque como um importante passo dentro do planejamento para atender às necessidades do PESBE e avançar na conservação da fauna e flora locais.

## REFERÊNCIAS

- ALEGRE, S. P. *et al.* Ecologia do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas. Lisboa: ISAPress, 2010.
- ALVES, C. S. Levantamento de mamíferos de médio e grande porte do parque estadual serra da boa esperança, minas gerais: contribuições para o plano de manejo. 2019. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ANDRADE L. A. Z.; NETO, W. N.; MIRANDA H. S. Effects of fire on the soil seed bank in a Cerrado sensu stricto in central Brazil. In: VIEGAS, D. X. (Ed.). Forest Fire Research e Wildland Fire Safety, 2002, Rotterdam.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination. Elsevier, 2001.
- BELL, A. D.; BELL, A.; DINES, T. D. Branch construction and bud defence status at the canopy surface of a west african rainforest. Biological Journal of the Linnean Society, v. 66, n. 4, p. 481-499, 1999.
- BELLINGHAM, P. J.; SPARROW, A. D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. Oikos, v. 89, n. 2, p. 409-416, 2000.
- BENAVIDES-SOLORIO, J.; MACDONALD, L. H. Post fire runoff and erosion from simulated rainfall on small plots: Colorado front range. Hydrological Processes, v. 15, n. 15, p.2931-2952, 2001.
- BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções. Embrapa Cerrados. 2020.
- BOND, W. J.; MIDGLEY, J. J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. Trends in ecology & evolution, v. 16, n. 1, p. 45-51, 2001.
- BOSILOVICH, M. G. *et al.* Atmospheric water balance and variability in the MERRA-2 reanalysis. Journal of Climate - Special MERRA-2 Collection, v. 29, n. 2, p. 671-691, 2016.
- BRADSTOCK, R. A.; AULD, T. D. Soil temperatures during experimental bushfires in relation to fire intensity: consequences for legume germination and fire management in south-eastern Australia. Journal of Applied Ecology, p. 76-84, 1995.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 maio. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 21 jun. 2023.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm). Acesso em: 10 fev. 2023.

BRONCANO, M. J.; RETANA, J.; RODRIGO, A. Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecology*, v. 180, n. 1, p. 47-56, 2005.

BURROWS, G. E. *et al.* Leaf axil anatomy and bud reserves in 21 myrtaceae species from northern Australia. *International Journal of Plant Sciences*, v. 169, n. 9, p. 1174-1186, 2008.

CAPANEMA, V. N. P.; SANCHES, I. D. A.; ESCADA, M. I. S. Comparação entre os produtos temáticos de uso e cobertura da terra do TerraClass Amazônia e MapBiomas: teste de aderência entre classes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos.

CHARLES-DOMINIQUE, T. *et al.* Bud protection: a key trait for species sorting in a forest-savanna mosaic. *New Phytologist*, v. 207, n. 4, p. 1052-1060, 2015.

CHARLES-DOMINIQUE, T.; MIDGLEY, G. F.; BOND, W. J. Fire frequency filters species by bark traits in a savanna-forest mosaic. *Journal of Vegetation Science*, v. 28, n. 4, p. 728-735, 2017.

CHIMINAZZO, M. A. Proteção de gemas e produção de casca: persistência pós-fogo em um gradiente de savanas e florestas do Cerrado. 2020. 108 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*, v. 9, p. 93-103, 2009.

CLARKE, P. J. *et al.* Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New phytologist*, v. 197, n. 1, p. 19-35, 2013.

CORRÊA, S. C. A influência dos sistemas climáticos sobre os incêndios florestais – Estudo de caso: Evento de incêndio ocorrido em setembro de 2005 no Jardim Botânico de Brasília. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília, Brasília.

COUTINHO, A. C. Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local. 2005. 308 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental). Universidade de São Paulo, São Paulo.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. II- as queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo-subarbustivo. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, p. 57-63, 1977.

COUTINHO, L. M. Fire in the tropical biota-ecosystem processes and global challenges. *Ecological studies*, v. 84, p. 82-105, 1990.

CREMER, K. W. Morphology and development of the primary and accessory buds of *eucalyptus regnans*. *Australian Journal of Botany*, v. 20, n. 2, p. 175-195, 1972.

DANTAS, V. de L.; PAUSAS, J. G. The lanky and the corky: fire-escape strategies in savanna woody species. *Journal of Ecology*, v. 101, n. 5, p. 1265-1272, 2013.

DE SOUZA, P. A. L. *et al.* Avanços no monitoramento de queimadas realizado no INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza.

DELITTI, W. *et al.* Effects of fire recurrence in quercus coccifera L. shrublands of the Valencia region (Spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology*, v. 177, p. 57-70, 2005.

DIAS, B. F. de S. Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados; manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Fundação Pro-Natureza, Brasília, DF (Brasil), 1992.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, v. 38, p. 201-341, 1972.

EMBRAPA. Embrapa Cerrados, 2012. Disponível em: [https://www.cpac.embrapa.br/unidade/oCerrado/#:~:text=O%20clima%20dominante%20na%20regi%C3%A3o,chuvosa%20\(outubro%20a%20abril\)](https://www.cpac.embrapa.br/unidade/oCerrado/#:~:text=O%20clima%20dominante%20na%20regi%C3%A3o,chuvosa%20(outubro%20a%20abril).). Acesso em: 03 fev. 2023.

FERNANDES, P.; RIGOLOT, E. The fire ecology and management of maritime pine (*pinus pinaster* ait.). *Forest Ecology and Management*, v. 241, n. 1-3, p. 1-13, 2007.

FLEMATTI, G. R. *et al.* A compound from smoke that promotes seed germination. *Science*, v. 305, n. 5686, p. 977-977, 2004.

FRANÇA, H.; NETO, M. B. R.; SETZER, A. O Fogo no Parque Nacional da Emas. 2. ed. Brasília: Série Biodiversidade, 2007.

FRANCO, A. C. Ecophysiology of woody plants. In: *The Cerrados of Brazil*. Columbia University Press, p. 178-198, 2002.

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, 2015.

GIGNOUX, J.; CLOBERT, J.; MENAUT, J.-C. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*, v. 110, n. 4, p. 576-583, 1997.

GOMES, L. *et al.* Post-fire recovery of savanna vegetation from rocky outcrops. *Flora Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 209, n. 3-4, p. 201-208, 2014.

GONTIJO, G. A. B. *et al.* Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011.

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.

GRUBB, P. J. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological reviews*, v. 52, n. 1, p. 107-145, 1977.

HODGKINSON, K. C. Shrub recruitment response to intensity and season of fire in a semi-arid woodland. *Journal of Applied Ecology*, p. 60-70, 1991.

HOFFMANN, W. A. *et al.* Better lucky than good: How savanna trees escape the fire trap in a variable world. *Ecology*, v. 101, n. 1, 2020.

HYSA, A.; BAŞKAYA, F. A. T. A GIS based method for indexing the broad-leaved forest surfaces by their wildfire ignition probability and wildfire spreading capacity. Springer Nature Switzerland AG. 2018.

IEF. Parque Estadual Serra da Boa Esperança, 2021. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/3306-nova-categoria/3253-parque-estadual-serra-da-boa-esperanca>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IEF. Plano de manejo do Parque Estadual Serra da Boa Esperança. 2021. Disponível através de contato direto mediante solicitação, por meio dos canais de comunicação presentes em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/3306-nova-categoria/3253-parque-estadual-serra-da-boa-esperanca>. Acesso em: 03 jun. 2023.

INCÊNDIOS florestais. Defesa civil do rio de janeiro, 2020. Disponível em: <http://defesacivil.rj.gov.br/index.php/para-o-cidadao/como-agir-em-desastres/22-incendios-florestais>. Acesso em: 25 ago. 2022.

INPE. Banco de dados de queimadas. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 20 mar. 2023.

INPE. Perguntas frequentes, 2023. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#:~:text=Exemplo%20de%20refer%C3%Aancia%3A,.br%2Fqueimadas%2Fbdqueimadas>. Acesso em: 20 mai. 2023.

INPE. Programa queimadas, 2023. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>. Acesso em: 03 fev. 2023.

JÄGER, A. K.; LIGHT, M. E.; VAN STADEN, J. Effects of source of plant material and temperature on the production of smoke extracts that promote germination of light-sensitive lettuce seeds. *Environmental and Experimental Botany*, v. 36, n. 4, p. 421-429, 1996.

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

KOUTSIAS, N.; KALABOKIDIS, K. D.; ALLGÖWER, B. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling*, v. 17, n. 4, p. 359-375, 2004.

LAWES, M. J. *et al.* Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. *Plant Ecology*, v. 212, p. 2057-2069, 2011.

LAWES, M. J. *et al.* How do small savanna trees avoid stem mortality by fire? The roles of stem diameter, height and bark thickness. *Ecosphere*, v. 2, n. 4, p. 1-13, 2011.

LIGHT, M. E.; DAWS, M. I.; VAN STADEN, J. Smoke-derived butenolide: towards understanding its biological effects. *South African Journal of Botany*, v. 75, n. 1, p. 1-7, 2009.

LLORET, F.; VILÀ, M. Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science*, v. 14, n. 3, p. 387-398, 2003.

LUSA, M. G. *et al.* Trichomes related to an unusual method of water retention and protection of the stem apex in an arid zone perennial species. *AoB Plants*, v. 7, 2015.

MACHIDA, W. S. Dinâmica multitemporal do estrato lenhoso sob diferentes regimes de fogo no Cerrado. 2021. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília.

MAPBIOMAS. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, 2021. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR) Acesso em: 01 jun. 2023.

MARTINS, M. C. Fogo: visões, possibilidades e limites do seu uso na agricultura, nas unidades de conservação e nas atividades florestais. 2017. 110 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MCMMASTER, R.; MCMMASTER, S. A history of twentieth-century american academic cartography. *Cartography and Geographic Information Science*, v. 29, n. 3, p. 312-315, 2002.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, n. 3, p. 493-500, 2005.

MELO, A. C. G. de; DURIGAN, G.; GORENSTEIN, M. R. Efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de floresta estacional semidecidual, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, p. 927-934, 2007.

MENDONÇA, R. *et al.* Flora vascular do Cerrado. Cerrado: ambiente e flora, 1998.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.520, de 16 de maio de 2007. Cria o parque estadual serra da boa esperança disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:minas.gerais:estadual:decreto:2007-05-16;44520>. Acesso em: 20 dez. 2022.

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2013. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=LEI&num=20922&ano=2013>. Acesso em: 21 jun. 2023.

MIRANDA, A. C. *et al.* Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v. 9, n. 3, p. 313-320, 1993.

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

MISTRY, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. *Journal of environmental Management*, v. 54, n. 4, p. 321-334, 1998.

MOREIRA, B. *et al.* Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in mediterranean basin flora. *Annals of botany*, v. 105, n. 4, p. 627-635, 2010.

NASA. NASA POWER Data Access Viewer, 2023. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 10 mai. 2023.

NASA. NASA POWER Methodology: Data Sources, 2023. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/data/sources/>. Acesso em: 12 mai. 2023.

NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D. C.; GUASSELLI, L. A. padrões espaciais mensais de focos de calor a partir de estimativa de densidade de kernel, na reserva do Niassa - Moçambique. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos.

NUNES, J. R. S. *et al.* Desempenho da fórmula de monte alegre (fma) e da fórmula de monte alegre alterada (fma+) no distrito florestal de monte alegre. *Floresta*, v. 40, n. 2, 2010.

OLIVEIRA, U. C.; DE OLIVEIRA, P. S. Mapas de kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na bacia hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos anos 2010 a 2015. *Espaço Aberto*, v. 7, n. 1, p. 87-99, 2017.

PAIVA, L. L. Dinâmica espaço-temporal das queimadas no Cerrado mineiro de 2013 a 2020. 2021. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAUSAS, J. G. Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology*, v. 29, n. 3, p. 315-327, 2015.

PAUSAS, J. G. *et al.* Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, v. 217, n. 4, p. 1435-1448, 2018.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, v. 204, n. 1, p. 55-65, 2014.

PEREIRA, A. A. Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de minas gerais. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. Lavras.

PINHEIRO, M. H. O.; MONTEIRO, R. Florística de uma floresta estacional semidecidual, localizada em ecótono savânico-florestal, no município de Bauru, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, p. 1085-1094, 2008.

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

RAMOS, P. C. M. Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1.; REUNIÃO CONJUNTA IPEF/FUPEF/SIF SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 3., 1995, Piracicaba.

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.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, n. 60, p. 57-109, 2003.

REIS, T. E. dos; COSTA, V. C. da. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. *Geosul*, v. 32, n. 63, p. 77-97, 2017.

RIBEIRO, L. *et al.* Floração em massa de *Vellozia gigantea* (Velloziaceae) após a ocorrência do fogo nos campos rupestres de Serra do Cipó, MG. In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 2007, Caxambu.

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.

RISSI, M. N. *et al.* Does season affect fire behaviour in the Cerrado?. *International Journal of Wildland Fire*, v. 26, n. 5, p. 427-433, 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. 03, p. 1220-1235, 2021.

ROSELL, J. A. Bark thickness across the angiosperms: more than just fire. *New Phytologist*, v. 211, n. 1, p. 90-102, 2016.

ROSELL, J. A. *et al.* Bark functional ecology: evidence for tradeoffs, functional coordination, and environment producing bark diversity. *New Phytologist*, v. 201, n. 2, p. 486-497, 2014.

SAMPAIO, O. B. Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos, SP. 1999. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANT'ANA, R. M. S.; CARVALHO, S. S.; JESUS, A. B. Espacialização das ocorrências da companhia de polícia de proteção ambiental – COPPA, através do uso de geotecnologias. *Revista Eletrônica: Tempo, Técnica e Território*, v. 5, n. 1, p.62-71, 2014.

SCHMIDT, I. B. *et al.* Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas—recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n. 2, p. 41-54, 2016.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Curso de especialização por tutoria à distância controle de incêndios florestais: o problema do fogo na floresta e meteorologia aplicada aos incêndios florestais: módulo 2. Brasília, DF: ABEAS, 2002.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Incêndios Florestais: Controle, Efeitos e Uso do Fogo. 2. ed. Curitiba: Editora da UFPR, 2017.

SOARES, R. V. Incêndios Florestais: controle e uso do fogo. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985.

STOCKS, B. J.; TROLLOPE, W. S. W. Fire management: principles and options in the forested and savanna regions of the world. *Fire in the Environment: The Ecological, Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires.*, p. 315-326, 1993.

SWANSON, F. J. Fire and geomorphic processes. In: MOONEY, H. A. *et al* (Org.). *Fire regimes and ecosystem properties*. Honolulu: General Technical Report, p. 401-420, 1981.

THONICKE, K. *et al*. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, v. 10, n. 6, p. 661-677, 2001.

TORRES, F. T. P. *et al*. MANUAL DE PREVENÇÃO E COMBATE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS. Viçosa: Editora da UFV, 2020.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern amazon. *Ecology*, v.71 n.2 p.437-449, 1990.

UICN. Guidelines protected Area Management Categories. Gland: UICN, 1994.

VASCONCELOS, S.S. *et al*. Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru–Acre/Brasil–Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados INPE/IBAMA. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 12, p. 3411-3417, 2005.

VIOLLE, C. *et al*. Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S. Análise da eficiência dos índices de perigo de ocorrência de incêndios florestais para o Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe. *Pensar a (in) sustentabilidade: desafios à pesquisa*. Porto Alegre: Redes, 2010.