

ANÁLISE DA RECORRÊNCIA DOS IMPACTOS CAUSADOS POR FOGO NO DISTRITO FEDERAL COM USO SIG

João Henrique Corrêa Pinto¹

<https://orcid.org/0009-0009-8753-0111>

Giliard Carlos da Rocha²

<https://orcid.org/0009-0000-9598-269X>

João Rafael Freitas da Silva³

<https://orcid.org/0009-007-5952-3374>

Nilson Clementino Ferreira⁴

<https://orcid.org/0000-0003-3419-6438>

RESUMO

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, está presente no Distrito Federal (DF), onde as áreas de proteção ambiental sofrem forte pressão antrópica, especialmente pelos recorrentes incêndios florestais. Este estudo teve como objetivo principal analisar a sequência histórica das cicatrizes de queimadas no DF entre 2007 e 2022. Também foram avaliados o histórico de área queimada, as fitofisionomias atingidas, além da distribuição espacial e recorrência dos incêndios. Utilizaram-se dados do Geoportal DF, Mapbiomas Fogo e Uso e Cobertura do Solo, obtidos por sensores Landsat (30 m). O processamento foi realizado com Google Earth Engine e QGIS. Os resultados indicaram que poucas áreas sofreram mais de seis eventos de fogo no período, com destaque para o Parque Ecológico Boca da Mata e a FLONA IV. Verificou-se que a recorrência de incêndios é significativamente menor no ano subsequente a uma queimada, estabilizando após dois anos. Conclui-se que as intersecções anuais das áreas queimadas apresentaram médias e medianas menores do que aquelas observadas em intervalos mais longos, evidenciando padrões que podem auxiliar nas estratégias de prevenção e combate pelos órgãos responsáveis.

Palavras-chave: Mapbiomas; Recorrência de fogo; SIG; Incêndio florestal.

¹ Oficial do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Distrito Federal. Especialista em Incêndios Florestais – Universidade Federal de Goiás UFG.

² Oficial do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Distrito Federal. Especialista em Incêndios Florestais – Universidade Federal de Goiás UFG.

³ Oficial do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Distrito Federal. Especialista em Incêndios Florestais – Universidade Federal de Goiás UFG.

⁴ Doutor em Ciências Ambientais – Universidade Federal de Goiás UFG.

ANALYSIS OF THE RECURRENCE OF FIRE-RELATED IMPACTS IN THE FEDERAL DISTRICT USING GIS

ABSTRACT

The Cerrado, the second largest biome in Brazil, is present in the Federal District (DF), where protected areas face strong anthropogenic pressure, especially due to recurrent wildfires. This study aimed to analyze the historical sequence of burn scars in the DF from 2007 to 2022. It also evaluated the burned area history, affected phytophysognomies, as well as the spatial distribution and recurrence of wildfires. Data were sourced from the Geoportal DF, Mapbiomas Fire, and Land Use and Cover projects, obtained through Landsat sensors (30 m resolution). Data processing was carried out using Google Earth Engine and QGIS. Results showed that few areas experienced more than six fire events during the period, with highlights including the Boca da Mata Ecological Park and FLONA IV. It was observed that fire recurrence is significantly lower in the year following a burn, stabilizing after two years. The study concludes that annual intersections of burned areas presented lower means and medians compared to longer time intervals, highlighting patterns that can support prevention and response strategies by relevant agencies.

Keywords: Mapbiomas; Fire recurrence; GIS; Wildland fire.

Artigo Recebido em 16/05/2025

Aceito em 20/09/2025

Publicado em 30/09/2025

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil em área e é conhecido como a savana mais rica em biodiversidade do mundo. Ele ocupa uma área de aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados, representando cerca de 24% do território brasileiro (Ribeiro e Walter, 1998). Sua extensão territorial se dá principalmente em regiões do Planalto Central do país, abrangendo o Distrito Federal e os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, São Paulo e Paraná. O Cerrado possui grande relevância hidrológica pois abriga grandes bacias hidrográficas brasileiras e sul-americanas, além de ser destaque nacional e internacional no agronegócio, o que gera grande impacto ambiental nessa região. (Sano *et al.* 1998).

Neste bioma está inserido o Distrito Federal (DF), com extensão territorial de 5.779 km² e aproximadamente 2,8 milhões habitantes (IBGE, 2022), sendo a unidade da federação com maior densidade demográfica, 489.06 pessoas por km². Segundo a classificação climática de Köppen⁵, o clima no DF é tropical e tropical de altitude, estando situado em cotas entre 850 e 1250 metros, com temperaturas médias anuais entre 19°C e 23°C, excedendo à 30°C nos períodos mais quentes e reduzindo a 13°C nos mais frios (CODEVASF, 2023).

A região do DF é composta por 46,62% de uso da terra agropastoril, 31,83% de formação florestal, 12,55% área não vegetada, 7,96% formação natural não florestal e 1,04% de corpos d'água (Mapbiomas, 2024). Estas estimativas estão em constante transformação, seja devido a pressões sociais ou externas, como por exemplo, as mudanças climáticas (Souza *et al.*, 2020).

⁵Köppen - Autor do sistema de classificação global dos tipos climáticos baseados em pressupostos ecológicos e geográficos.

No Distrito Federal, os incêndios florestais ocorrem em sua maioria entre os meses de junho e outubro, época do ano relacionada a uma baixa umidade relativa do ar, devido à estiagem (CBMDF, 2022). A ocorrência de fogo em uma mesma área de vegetação em anos seguidos está associada as alterações nas árvores e na cobertura gramínea (Durigan e Ratter, 2016), perda de biodiversidade, erosão e empobrecimento do solo (Oliveira-Filho *et al.*, 2018). Desta forma as áreas de proteção ambiental do Distrito Federal sofrem grande pressão antrópica, devido à alta densidade demográfica, o que faz com que ocorra uma média de 7912 ocorrências de incêndios florestais em todo o DF, entre os anos de 2012 e 2022, segundo o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF, 2022).

Atualmente, há uma grande disponibilidade de ferramentas para processamento de dados providos do sensoriamento remoto. Dentre eles, um que possui uma grande evidência é o Projeto Fogo do MapBiomas⁶, que com a base de dados dos satélites da família Landsat e Sentinel, elaboram produtos que permitem acompanhar as alterações no território do Distrito Federal.

Assim, com auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o presente estudo visa analisar a distribuição espacial e temporal dos incêndios florestais no Distrito Federal com fulcro na identificação de padrões históricos, como forma de subsidiar ações futuras de prevenção e combate a incêndio pelos agentes de resposta. Daí se desprende o seguinte questionamento: existe correlação das cicatrizes de queima causadas pelos incêndios florestais de um ano com os anos anteriores?

Para elucidar este questionamento, durante este estudo serão analisadas algumas bases de dados geográficos disponíveis no Mapa de Cicatrizes de Fogo da rede colaborativa Mapbiomas, arquivos vetoriais de cicatrizes de queima e de uso e cobertura do solo disponíveis na Plataforma

⁶MapBiomas - Rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia. Produzimos mapeamento anual da cobertura e uso da terra e monitoramos a superfície de água e cicatrizes de fogo mensalmente com dados a partir de 1985.

Geoportal/DF⁷, informações produzidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), dentre outras bases geográficas.

Desta forma, levando em consideração as características das fitofisionomias do cerrado, e com auxílio de geotecnologias, esta pesquisa tem como objetivo analisar as cicatrizes de queimas causadas por incêndios florestais no Distrito Federal entre os anos de 2007 e 2022, para identificar padrões de incêndios florestais e queimadas, e suas correlações com o uso e cobertura do solo, bem como sua recorrência temporal e histórica.

É importante ressaltar que os trabalhos que envolvem a aplicação de métodos de geoprocessamento são baseados em modelos de simplificação da realidade (Moura, 2003) e, portanto, exigem recortes espaciais, temporais, conceituais adequados à metodologia empregada (Sutil *et al.*, 2020).

Atualmente os sensores embarcados nos satélites artificiais possuem uma ampla resolução espectral e resoluções espaciais em escala abaixo do metro que permitem aplicações em diversas áreas do conhecimento, sejam elas no monitoramento ambiental, levantamento de recursos naturais, detecção de desastres, cartografia de precisão, defesa e vigilância (Meneses e Almeida, 2012).

De acordo com Meneses e Almeida (2015, p. 13) o “*sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres*”.

Em um segundo momento, acredita-se que uma análise quantitativa descritiva do comportamento histórico dos incêndios florestais, mesclado com a distribuição espacial deste fenômeno nos limites do Distrito Federal possa contribuir para as atividades de combate, e principalmente de prevenção a novos incêndios florestais, tornando-se um arcabouço teórico e ferramental

⁷Geoportal/DF - Plataforma de dados georreferenciados do território e da população do Distrito Federal.

para tomada de decisão dos órgãos envolvidos na gestão e respostas aos incêndios florestais.

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo primário: comparara sequência histórica de 2007 a 2022 das cicatrizes de áreas queimadas resultantes de incêndios florestais no Distrito Federal. E tem como objetivos secundários: a) avaliar o histórico dos registros de áreas queimadas no DF; b) distinguir as fitofisionomias atingidas por estes incêndios; c) identificar a distribuição espacial e recorrência dos incêndios florestais no período citado.

2 PRODUTOS DE MONITORAMENTO

Incêndios florestais atingem todo o território nacional, porém o cerrado tem uma relação mais íntima com este fenômeno. Tem-se que este bioma foi formado por sua resiliência frente as alternâncias climáticas em escalas geológicas do planeta (Labouriau, 2005). Estudos indicam que o fogo ajudou a moldar o Cerrado demonstrando, por meio de estudos fósseis, a presença de fogo neste bioma há pelo menos 40.000 anos, sendo sua ocorrência cada vez mais frequente e que hoje constitui-se como um dos fatores preponderantes para sua degradação em conjunto com o desmatamento antrópico (Labouriau e Vincentini, 1994).

O registro quantitativo das áreas atingidas por fogo foi, por muito tempo, deveras trabalhoso, pois dependiam de aferições diretas por profissionais com auxílio de equipamentos do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), as quais deveriam ocorrer por meios manuais (Meneses e Almeida, 2012). De acordo com Pinto (2021), as aferições em muitos casos são subestimadas, pois o acesso à toda área atingida nem sempre é viável, tendo em vista obstáculos topográficos e as grandes áreas atingidas.

Para o contorno destas dificuldades, passou-se a utilizar aeronaves, porém nem sempre este recurso está disponível, devido ao seu elevado custo

de aquisição, manutenção e operação. Portanto, para grandes extensões a serem analisadas, os sensores orbitais atualmente se enquadram no meio mais eficiente e de menor custo quando comparado aos demais recursos (Shumacher e Dick, 2018).

A evolução tecnológica e a popularização do acesso a dados gerados por sensores remotos permitiram a aferição das estimativas de área queimada de forma efetiva, além de reduzirem os custos de operação, porém também exigiram dos seus operadores habilidades na manipulação de SIGs, bem como o entendimento matemático adequado para cada tipo de fenômeno a ser observado (Meneses e Almeida, 2012).

Ferro (2022) realizou um estudo comparando os resultados de diferentes produtos globais MCD64A1 (GIGLIO *et al.*, 2018), *Fire Disturbance – Fire_cci* (CHUVIECO *et al.*, 2018) e *Global Annual Burned Area Mapping – GABAM* (Long *et al.*, 2019) bem com produtos regionais AQM1km (Libonati *et al.*, 2015) e Mapbiomas Fogo (Alencar *et al.*, 2022) e CBERS (Ferro, 2021). A tabela abaixo ilustra as características de cada produto acima mencionado.

Figura 1 – Quadro de descrição das características dos produtos de área queimada.

Produto	Desenvolvedor	Sensores	Resolução Espacial	Escala	Período	Intervalo de Tempo
CBERS	Ferro (2021)	Cbers 4 e 4A (WFI)	64 m	Local (Rondônia)	Mensal	2021
MapBiomas Fogo	MapBiomas	Landsat (TM, ETM+, OLI)	30 m	Brasil	Mensal	1985 - presente
MCD64A1	NASA	MODIS	500 m	Global	Mensal	2000 - presente
Fire_cci	ESA	MODIS	250 m	Global	Anual	2001 - 2020
GABAM	China (RAD/CAS)	Landsat (TM, ETM+, OLI)	30 m	Global	Anual	2000 - presente

Fonte: Ferro (2022).

Os produtos mencionados acima obtiveram resultados confrontados a partir de uma referência que consistiu em catalogar as cicatrizes de queima por meio de imagens orbitais *Sentinel – 2* e da constelação *Planet* com resoluções espaciais de 10 e 3 metros respectivamente (Ferro, 2022).

Os resultados do trabalho mencionado acima, apontou que o produto Mapbiomas Fogo foi o que obteve os melhores resultados na detecção das cicatrizes de queima em um recorte do bioma Amazônia apresentando uma correlação no conjunto de dados ($r = 0,87$), subestimando apenas 7,5% a menos de área queimada em comparação à referência (Ferro, 2022).

Outra base de dados disponível regionalmente é disponibilizada no Geoportal do Distrito Federal, onde se encontram poligonais de regiões atingidas por fogo na aba Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), com dados de 2007 a 2022. A partir do ano de 2015 as cicatrizes foram aferidas a partir de metodologia do órgão que usou imagens *Landsat* e *Resourcesat*, seguida de anos mais recentes do *Sentinel*, e mais recentemente da constelação *Planet* (MJSP, 2020), além de cruzamento de dados de aferições manuais a partir de dados gerados das equipes de resposta e levantamentos aéreos tripulados ou não (CBMDF, 2021). Nos anos anteriores foram replicados dados do programa AQM30mdo INPE (Melchiori *et al.*, 2014).

3 METODOLOGIA

Diante da grande diversidade de produtos mencionados na seção anterior, optou-se por eleger os dados do projeto MapBiomas para direcionar as análises deste trabalho, pois neste projeto, além de resultados satisfatórios, os dados possuem uma padronização maior em relação a outras bases de dados analisadas.

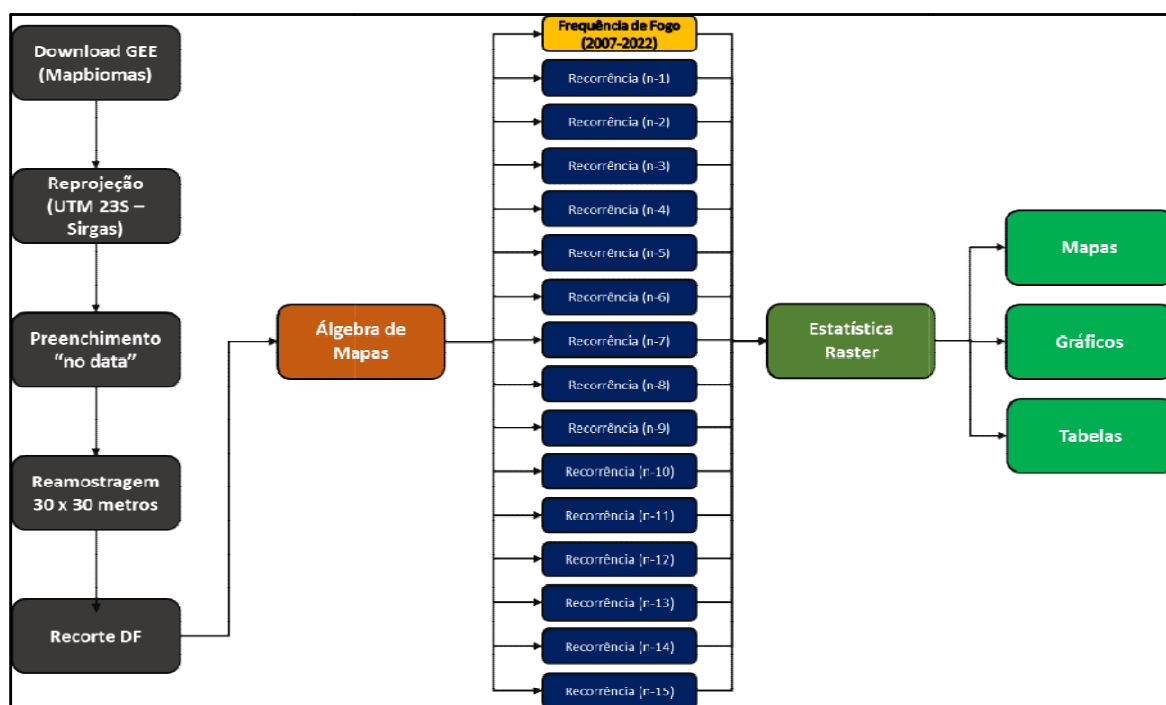
As poligonais atingidas por fogo aferida pelo projeto MapBiomas Fogo tem como base imagens multiespectrais dos sensores embarcados na família

de satélites *Landsat*, todas elas com resoluções espaciais de 30 metros (Alencar *et al.*, 2022)

O período escolhido para análise dos dados foi baseado inicialmente em um grande incêndio florestal que atingiu o Parque Nacional de Brasília (PNB) em 2007. Este período coincide com a adoção da ferramenta de gestão intitulada por Sistema de Comando de Incidentes (SCI) pela Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP), (Brasil, 2008). O limite superior do período de análise se limitou aos dados disponíveis no projeto MapBiomas.

A partir do período de interesse selecionado, sebuscou os dados através da plataforma Google Earth Engine.Com o auxílio do *Toolkit* MapBiomas, as cicatrizes de queima foram baixadas em formato matricial em uma conta *Google*, e em seguida importadas ao *software* QGIS, conforme ilustrado no fluxograma abaixo.

Figura 2 – Fluxograma de produção de dados.



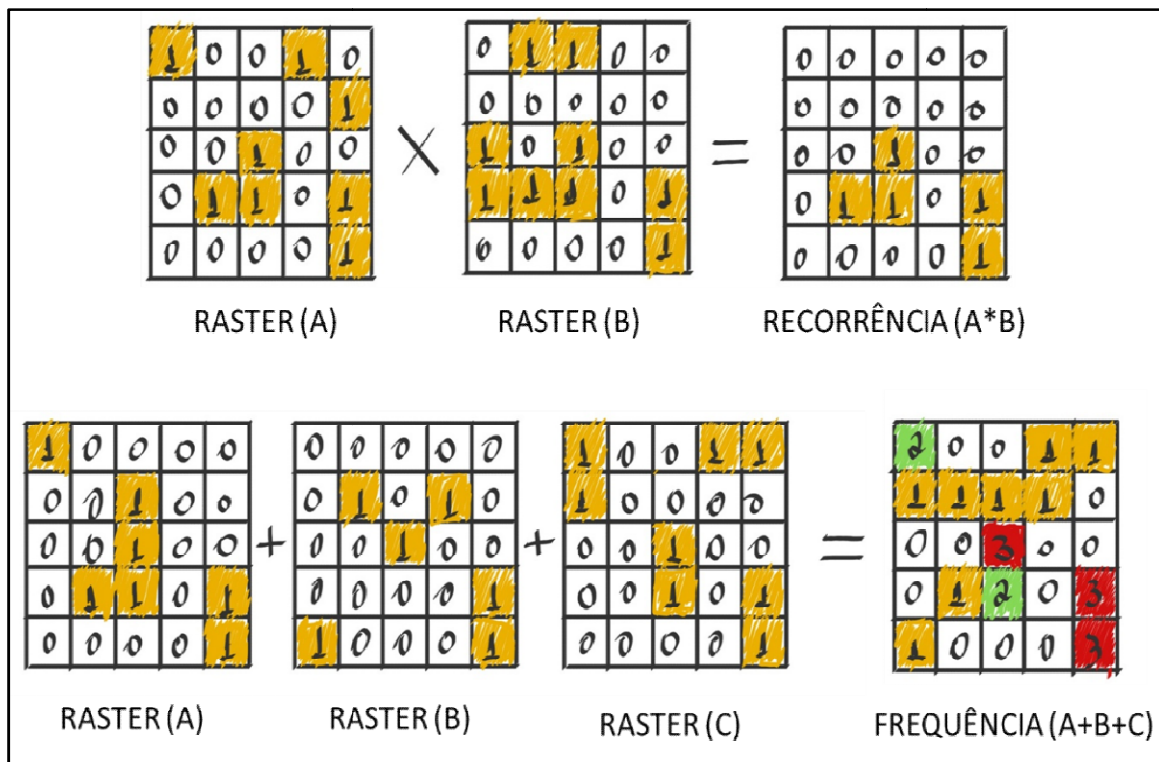
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na interface SIG, realizou-se diversas manipulações com o objetivo de adequar os dados, especialmente na área de interesse delimitada pelo Distrito Federal. O fluxograma presente na figura 2 traz em síntese os procedimentos realizados a cada imagem em formato TIFF, para então serem submetidos a álgebra de mapas.

Para a obtenção dos resultados da frequência das áreas atingidas por fogo, a álgebra utilizada foi a partir da operação de soma, em que para cada imagem em formato matricial foram atribuídos valores discretos entre 0 e 1, representando respectivamente áreas não queimadas e queimadas. O resultado deste somatório foi uma imagem resultante como valores de pixel variando de forma também discreta entre 0 e 16.

Para a construção dos gráficos de recorrência, as imagens que representam as áreas queimadas de cada ano foram processadas aos pares com intervalos anuais de 1, 2, 3, 4, e assim sucessivamente até o intervalo de 15 anos, tendo como referência o ano de 2022 até o ano de 2007. Nesta operação, diferentemente da obtenção dos dados de frequência, foi utilizado o produto entre as Imagem A x Imagem B com resultados possíveis entre 0 e 1, onde 0 representa a não intersecção entre as duas imagens, e o valor 1 indica a intersecção de pixels atingidos por fogo nos dois anos confrontados. Estas operações podem ser resumidas ilustradas a partir da figura 3.

Figura 3 – Operações aplicadas a álgebra de mapas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após as transformações realizadas no QGIS, os dados apresentaram ligeira diferença na representação das áreas das cicatrizes, em torno de 0,17%, o que não interferiu nos resultados obtidos neste trabalho, tendo em vista as ordens de grandezas das áreas analisadas.

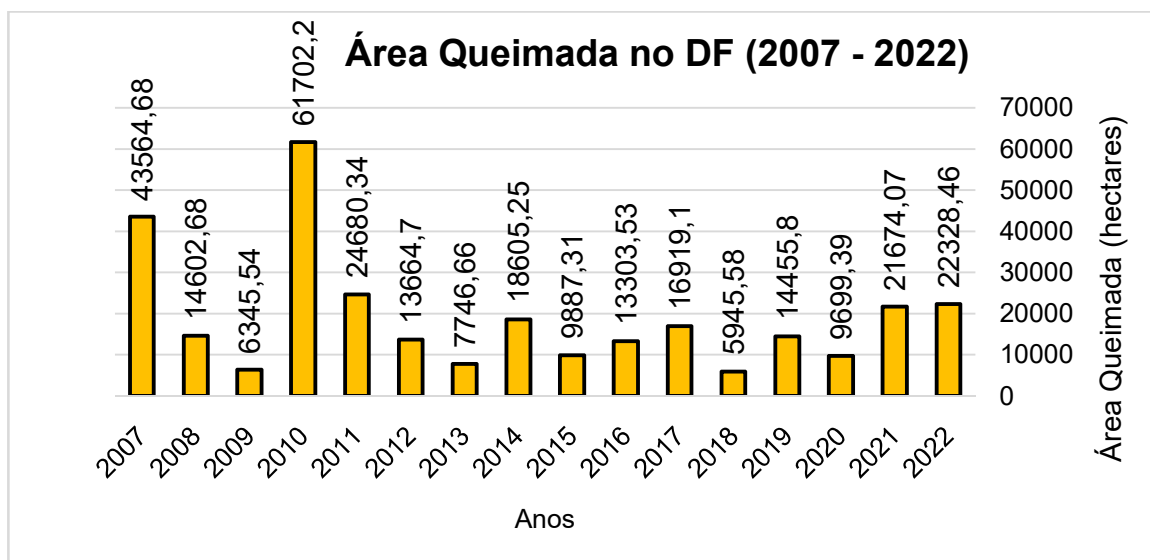
Na análise das fitofisionomias mais atingidas pelos incêndios, procedimentos semelhantes de preparação dos dados foram realizados no QGIS, porém foram utilizados dados do programa Cobertura do Mapbiomas e Geoportal/DF.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Regiões incendiadas no DF

De posse dos dados do projeto MapBiomas, e após sua reorganização já descrita na etapa anterior, com auxílio do *software* QGIS, catalogou-se o histórico de áreas queimadas na delimitação do Distrito Federal, resultando nos dados ilustrados no gráfico da figura4.

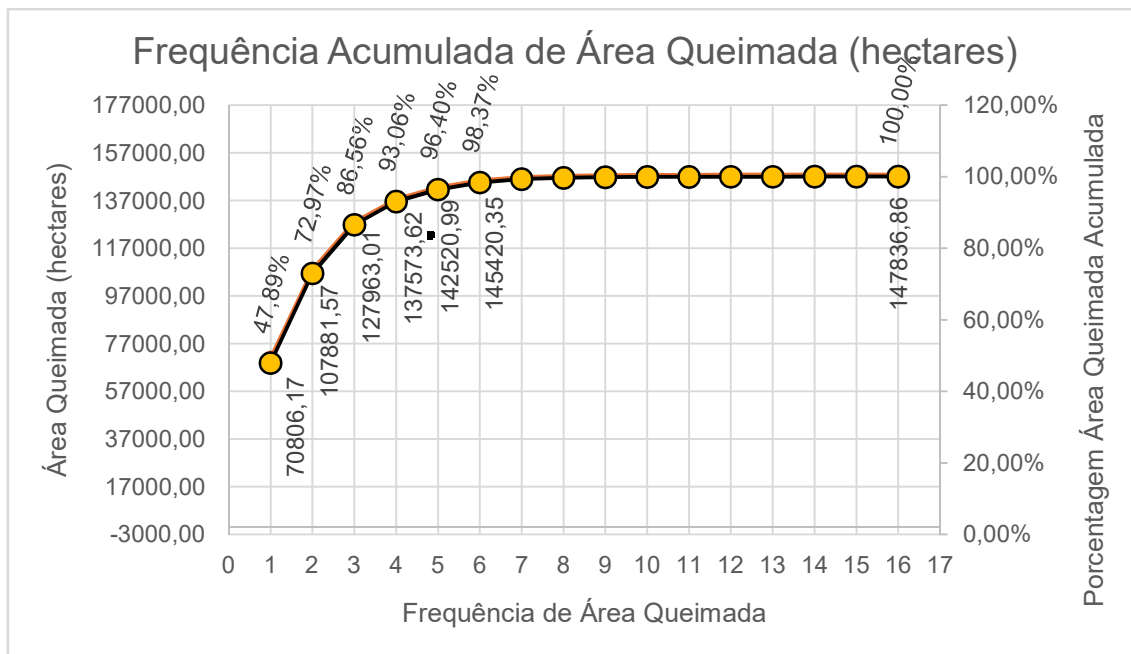
Figura 4 – Área queimada (2007 – 2022).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

De acordo com os dados obtidos durante o período de análise deste trabalho (2007 a 2022) observou-se uma média anual de 19.070,33 hectares queimados e desvio padrão 14.162,98 na amostra selecionada. Os dados também indicaram áreas decrescentes em recorrências de incêndios sendo a maior parte do DF sem registros de ocorrências de incêndios, seguida de uma ocorrência de fogo até 16 vezes no período de 2007 a 2022. O gráfico da figura 5 ilustra esta distribuição acumulada.

Figura 5 – Gráfico de área queimada acumulada por frequência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

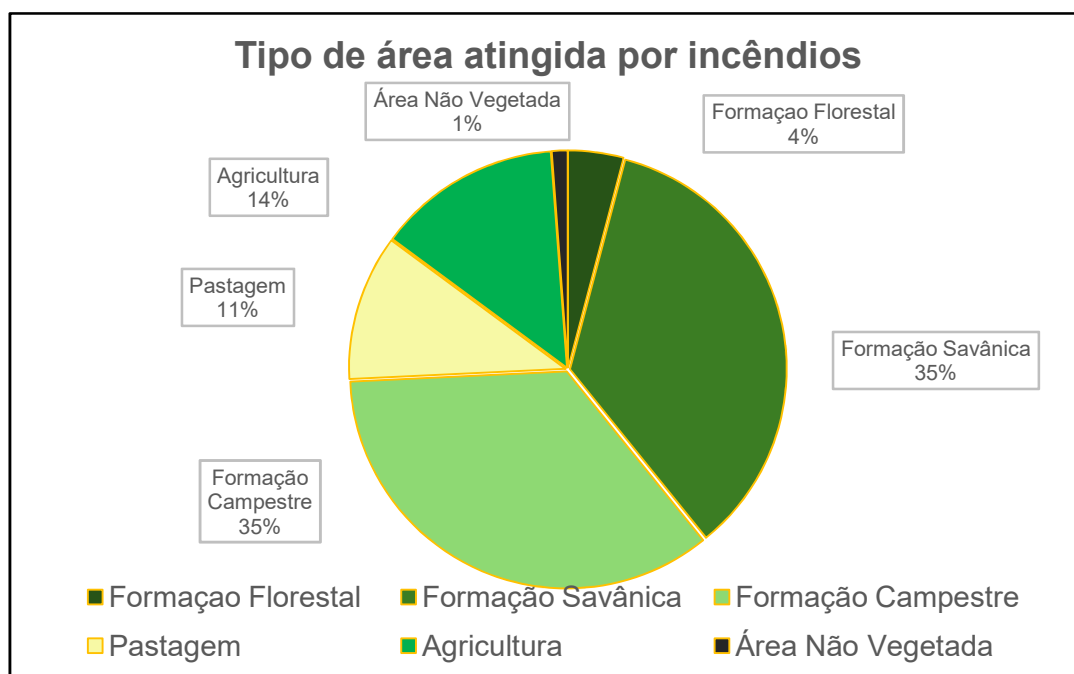
O gráfico acima indicou que 98,37% das regiões atingidas por fogo representam áreas que queimaram entre uma vez a seis vezes. Isto indica que poucas regiões no DF sofreram recorrência com fogo superior a seis vezes durante o período analisado.

Vale ressaltar que, de acordo com dados extraídos da camada vetorial “uso e cobertura do solo 2019”, disponível no Geoportal-DF, a região estudada conta com uma área de aproximadamente 575 mil hectares, estes, aproximadamente 13,59% são áreas sem vegetação, antropizadas e não sujeitas a incêndios em vegetação e os 497.791 (86,41%) hectares restantes são compostos por algum material combustível florestal. No cruzamento com os dados do MapBiomass, este estudo indicou que apenas 0,0004% (1,98 hectares) do combustível disponível sofreu com fogo anualmente (16 vezes), indicando assim que são raras as regiões no DF atingidas por fogo em alta frequência. Notou-se diante do gráfico ilustrado na figura 5, que aproximadamente 30% (147.836,86 hectares) de toda área verde do DF em

algum momento já foi atingido por algum incêndio entre 2007 e 2022, pelo menos uma vez.

Nas regiões cobertas por algum tipo de vegetação, algumas fitofisionomias são incendiadas em maior quantidade, com destaque para as formações savânicas, em média 35,07%, formações campestres 35,07%, regiões de agricultura 13,71%, pastagens 10,85% e formações florestas 4,11%, que em sua maioria são formadas pelas matas de galerias.

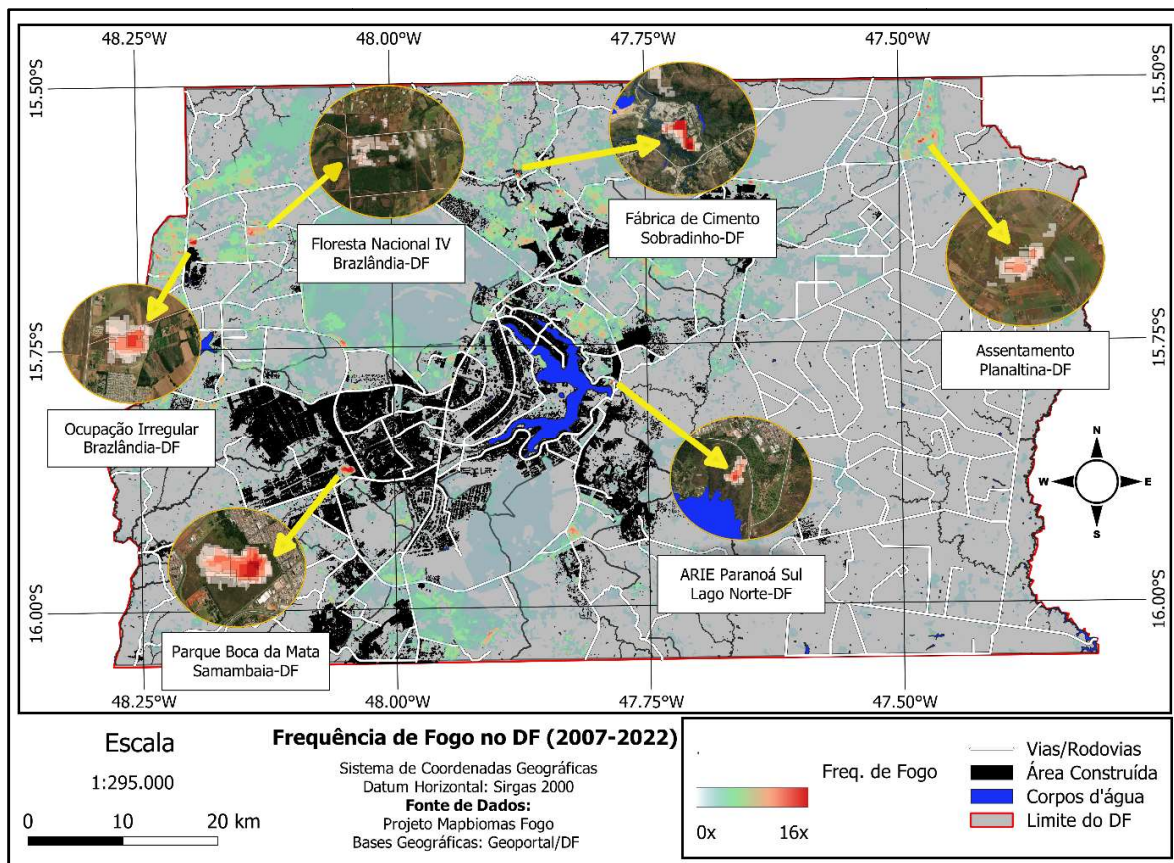
Figura 6 – Distribuição das fitofisionomias queimadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Destaca-se, que as áreas não vegetadas acometidas por incêndios se baseiam na sobreposição das áreas queimadas sobre a classificação do uso e cobertura do solo do projeto MapBiomas, sendo neste caso, regiões de mineração e solo exposto, por exemplo.

Figura 7 – Distribuição espacial das cicatrizes de queima (2007-2022).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Diante dos dados coletados, buscou-se identificar espacialmente as áreas incendiadas de forma mais recorrente entre uma e dezesseis vezes, sendo que este extrato representa grande parte das regiões incendiadas no território analisado. A análise resultou no mapa acima, onde as poligonais próximas da cor vermelha indicam regiões com alta frequência de incêndio.

As áreas destacadas no mapa acima se caracterizaram por regiões com cicatrizes de queima em frequência de 10 a 16 vezes, durante o período analisado.

Duas unidades de conservação obtiveram suas regiões com alta frequência de fogo, chamam a atenção o Parque Ecológico Boca da Mata, de administração distrital, que dos seus aproximados 195 hectares tiveram 79%

(154 hectares) de sua área sinistrada constantemente. Cabe notar que o parque ecológico está incluso em uma interface urbano-rural o que se estima que ocasiona áreas incendiadas com maior frequência devido à pressão antrópica.

Já a Floresta Nacional IV de administração federal é caracterizada por uma área de reflorestamento que atualmente contém espaços degradados compostos por combustíveis leves que facilitam a propagação de incêndios.

Uma outra região acometida frequentemente por fogo é uma região de mineração. Nesta região, as cicatrizes de queimas detectadas são frutos das chamas associadas ao processo produtivo e a queima de rejeitos no interior da fábrica de cimento situada na localidade, não estando associada a incêndios florestais nas matas que circundam a região.

As regiões com alta frequência de fogo localizadas nas regiões administrativas de Planaltina e Brazlândia são classificadas, segundo a Lei Complementar nº 803 de 25 de abril de 2009, como Zona Rural de Uso Controlado (ZRUC). Neste sentido, a lei estabelece diretrizes onde a área deve compatibilizar as atividades nelas desenvolvidas com a conservação dos recursos naturais, a recuperação ambiental, a proteção dos recursos hídricos e a valorização de seus atributos naturais, com ações que visam coibir o parcelamento irregular, preservação de recursos hídricos, controle de erosões dentre outras ações.

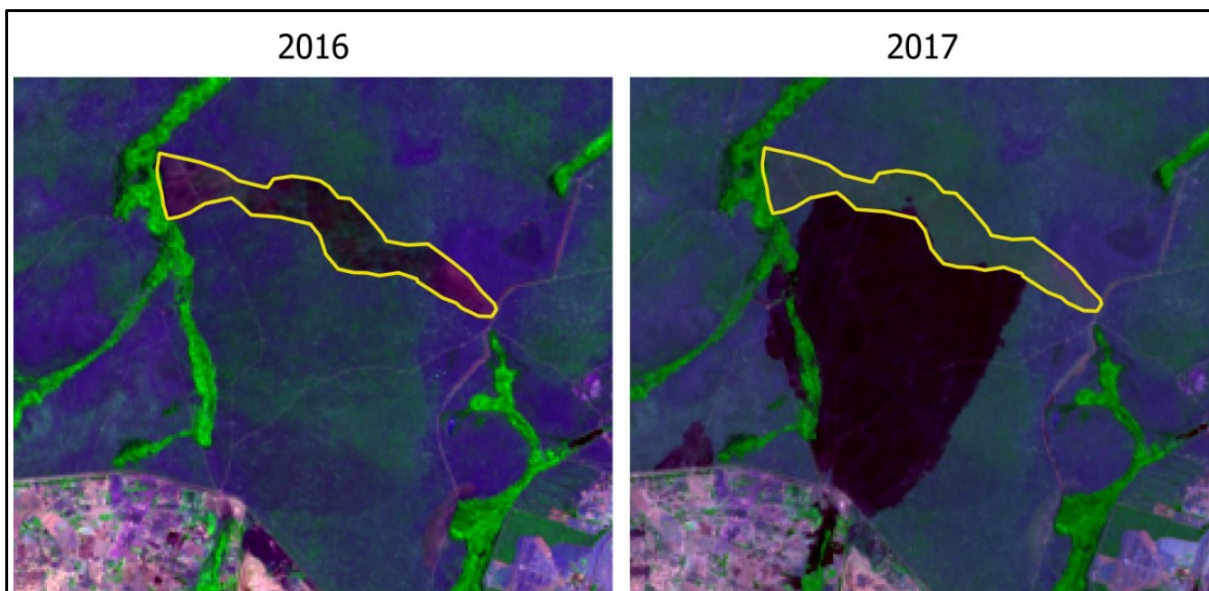
Portanto, nas áreas destacadas, foi observado que em Planaltina as regiões já estão consolidadas por chácaras e pequenas propriedades. Já em Brazlândia, foi verificado que a localidade é também conurbada com a interface urbana da região administrativa.

As duas regiões analisadas são áreas conflituosas, que dentre outras formas de controle da vegetação utilizam o fogo e desta forma, chegaram a apresentar altos índices de cicatrizes de queima ao longo do período analisado.

4.2 ANÁLISE DA RECORRÊNCIA

De acordo com o observado e relatado por Pinto (2021), áreas queimadas em determinados períodos influenciam incêndios futuros, pois para algumas fitofisionomias, sua carga de combustível é reduzida, permitindo assim uma diferenciação na propagação dos incêndios correntes. A imagem abaixo é um recorte de um incêndio no Parque Nacional de Brasília (PNB) entre os anos de 2016 e 2017.

Figura 8 – Cicatrizes de queima Parque Nacional de Brasília.



Fonte: Pinto (2021).

O incêndio no PNB em 2016 foi resultante da perda de controle de um aceiro com uso de fogo às margens de uma estrada de terra do parque e que foi controlado por equipes do CBMDF e ICMBIO (CBMDF, 2016).

Em 2017, um outro incêndio ocorrido às margens do parque adentrou a unidade de conservação, perdendo força nos limites do evento ocorrido no ano anterior, assim o controle das equipes de resposta, e em alguns pontos tendo sua auto extinção (CBMDF, 2017).

Os autores Pivello e Coutinho (1992) estimaram que o tempo de reposição de nutrientes perdidos durante uma queimada pode variar conforme o mineral analisado. Em média quando analisado os teores de fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg), o estudo indicou que o intervalo de 3 anos entre as queimadas é razoável para iniciar a reciclagem de nutrientes e evitar o empobrecimento crítico solo na manutenção dos ecossistemas.

Associado a esta degradação com queimas frequentes de uma mesma área, Medeiros e Miranda (2005), realizaram um ensaio em campo sujo⁸ na Reserva Ecológica do IBGE – DF com fogo prescrito em três anos consecutivos, e assim, analisando a mortalidade do extrato arbustivo-arbóreo com diâmetro igual ou superior a 2 cm estando a 30 cm do solo. As taxas de mortalidade registradas ficaram em 22,5, 7,9 e 11,5% entre a primeira queimada e a última respectivamente, obtendo assim uma redução final de 37% na quantidade de indivíduos vivos.

Estas informações denotam que em incêndios recorrentes, o extrato vegetal arbustivo sofre declínio seja pela dificuldade de obtenção de nutrientes, seja pelos impactos térmicos do fogo na flora local, disponibilizando assim uma menor carga combustível disponível para incêndios futuros (Franke et al., 2018).

Para a investigação espacial dos efeitos da recorrência de incêndios no Distrito Federal, buscou-se os dados aferidos pelo Projeto Mapbiomas Fogo. Estes dados foram exportados através da plataforma Google Earth Engine (GEE), em formato TIFF, e no *software* QGIS foram reprojatados para coordenadas planas EPSG 3295, em seguida reamostrados para resolução espacial de 30 metros e recortados nos limites do Distrito Federal, com

⁸O Campo Sujo é um tipo fisionômico exclusivamente herbáceo-arbustivo, com arbustos e subarbustos esparsos cujas plantas, muitas vezes, são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito (RIBEIRO e WALTER. 1998).

preenchimento de dados *no-data*, conforme descrito pelo fluxograma da figura 2.

Após esta preparação dos dados e através da operação Imagem A x Imagem B realizou-se o cruzamento das áreas queimadas entre os pares de anos dos períodos analisados. Inicialmente, teve-se como referência o ano de 2022 com o cruzamento aos anos de 2021, 2020, 2019, e assim por diante até o ano de 2007, identificando desta forma as intersecções de área queimada para um intervalo de 1 a 15 anos.

Em seguida realizou o mesmo procedimento, tendo como referência o ano de 2021 com um intervalo de 14 anos. Esta tarefa foi realizada até que se pudesse comparar o ano de 2008 com 2007. Assim construiu-se dois quadros com os resultados das áreas queimadas recorrentes e a porcentagem em relação ao ano de referência entre os períodos intervalares de 1 a 15 anos.

Figura 9 – Quadro de recorrência anual de área queimada em hectares.

Ano de Referência	Áreas de cicatrizes de queima comuns entre um determinado ano vesus ano-1 (N-1) em hectares														
	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12	N-13	N-14	N-15
2022	1796,22	2358,36	2602,89	1496,52	1691,91	2654,37	1295,37	2413,08	1162,71	2058,75	2307,33	9509,13	870,93	1839,87	9897,84
2021	736,2	4094,19	1589,85	7062,48	2969,19	1183,68	4387,86	1361,97	2093,94	2538,63	11143,98	769,5	2497,86	5003,82	
2020	569,52	1035,27	1116,27	1697,49	1231,47	2121,66	703,53	1354,86	1367,01	4725,45	728,91	1153,44	2968,92		
2019	592,29	2623,05	2662,83	1272,06	4258,8	1100,07	2318,67	2187,81	5861,61	696,33	2643,84	3802,14			
2018	3168,9	1315,44	747,9	1475,01	471,96	1100,34	1344,24	2481,57	359,37	911,61	2098,62				
2017	715,77	1737,81	3747,96	1077,84	1911,51	2179,62	9650,34	481,23	2047,14	3617,37					
2016	798,3	3307,5	1298,34	2474,91	1938,6	7361,28	625,41	1812,42	3699,45						
2015	817,29	1398,33	1762,83	1834,56	3808,53	610,29	2174,4	2744,64							
2014	776,7	3376,35	2862,99	9586,71	930,87	2919,24	5326,11								
2013	626,22	1871,55	3495,69	730,53	1338,75	2217,06									
2012	1627,29	7203,96	1062,9	2108,07	4585,68										
2011	3910,05	1461,69	2856,42	4645,89											
2010	1629,09	6818,4	14265,45												
2009	839,52	2394,45													
2008	2739,6														

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os valores absolutos das áreas queimadas na análise da recorrência entre os pares anuais de cicatrizes de queima são dados importantes, porém podem não trazer de forma efetiva a influência que cada área incendiada em determinado ano contribuiu nos anos seguintes. Valores de alta magnitude de áreas comuns interseccionadas não indicam a porcentagem queimada a partir do ano de referência, desta forma, estes resultados podem indicar, por mais

que sejam altos, uma baixa porcentagem de recorrência. O quadro abaixo indica os resultados em porcentagem das recorrências analisadas.

Figura 10– Quadro de porcentagem de área queimada.

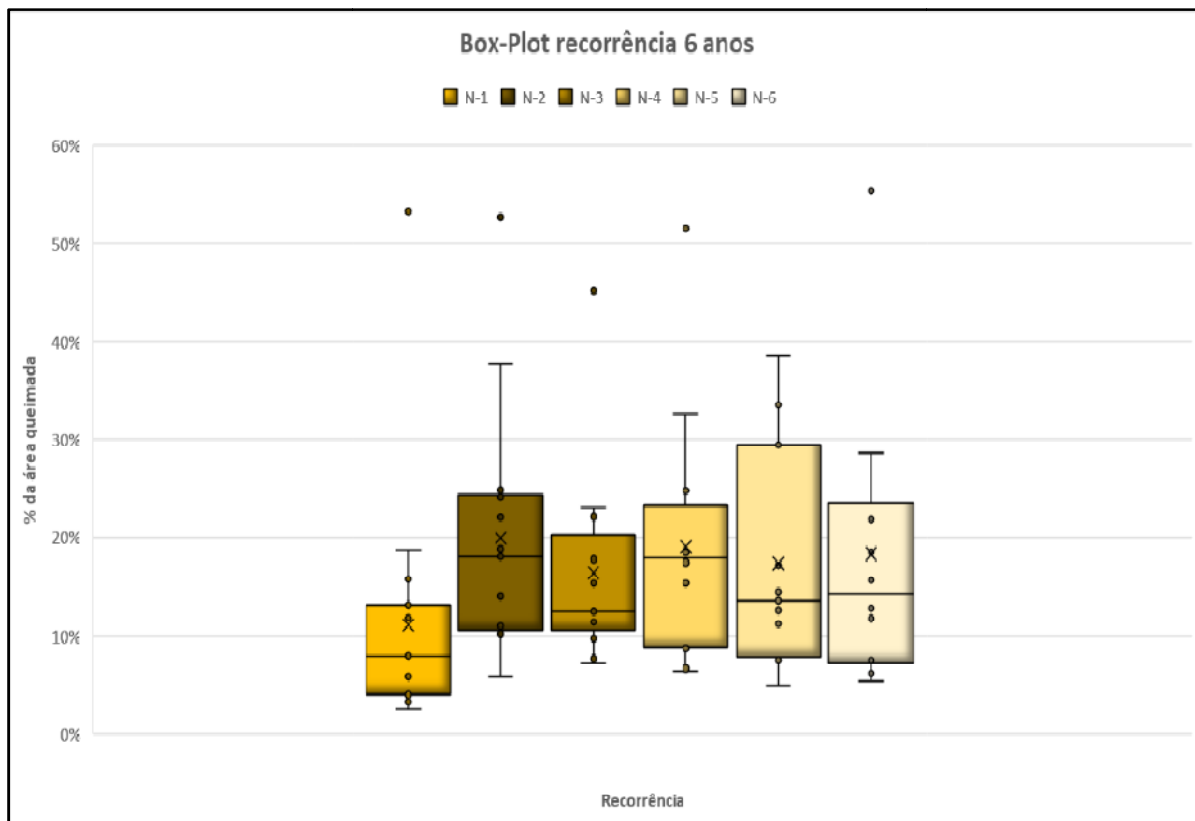
Ano de Referência	Porcentagem das áreas de cicatrizes de queima comuns entre um determinado ano versus ano-1 (N-1)														
	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12	N-13	N-14	N-15
2022	8%	11%	12%	7%	8%	12%	6%	11%	5%	9%	10%	43%	4%	8%	44%
2021	3%	19%	7%	33%	14%	5%	20%	6%	10%	12%	51%	4%	12%	23%	
2020	6%	11%	12%	18%	13%	22%	7%	14%	14%	49%	8%	12%	31%		
2019	4%	18%	18%	9%	29%	8%	16%	15%	41%	5%	18%	26%			
2018	53%	22%	13%	25%	8%	19%	23%	42%	6%	15%	35%				
2017	4%	10%	22%	6%	11%	13%	57%	3%	12%	21%					
2016	6%	25%	10%	19%	15%	55%	5%	14%	28%						
2015	8%	14%	18%	19%	39%	6%	22%	28%							
2014	4%	18%	15%	52%	5%	16%	29%								
2013	8%	24%	45%	9%	17%	29%									
2012	12%	53%	8%	15%	34%										
2011	16%	6%	12%	19%											
2010	3%	11%	23%												
2009	13%	38%													
2008	19%														

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os dados destacados no quadro acima representam valores discrepantes que se enquadraram em limites de 1,5 vezes superiores aos intervalos interquartílicos das recorrências das regiões atingidas por fogo nas distribuições obtidas nos períodos com intervalos entre 1 e 6 anos.

O gráfico ilustrado na figura 11 descreve a distribuição da porcentagem da área queimada entre um ano de referência e intervalos de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 anos. Nota-se que foram observados dados discrepantes nos períodos n-1, n-2, n-3, n-4 e n-6.

Figura 11 – Box-plot recorrência 6 anos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O dado relacionado aos *outlier* no *box* n-1 indica a comparação entre 2018 e 2017. Conforme observado no gráfico da figura 11, a área queimada em 2018 foi muito pequena chegando a aproximadamente 5.945 hectares, já em 2017, um pouco mais de 16.919 hectares. Desta forma, como a área de 2018 é muito pequena em relação a 2017, uma pequena intersecção entre as cicatrizes de queima leva ao registro de uma grande porcentagem nesta comparação.

Já os *outliers* n-2, n-3, n-4 e n-6 surgem nas intersecções das cicatrizes de queima, respectivamente entre os anos 2012, 2013, 2014 e 2016 com 2010. A área queimada registrada no DF em 2010 foi 61.702 hectares, sendo a maior

no período analisado, desta forma, as intersecções, tendo como referência este ano, geraram porcentagens altas em relação ao ano de comparação.

Outro ponto que merece destaque nestas comparações é que de fato a recorrência entre um determinado ano e seu anterior, apresentamos menores intervalos interquartílicos, médias e medianas em relação aos demais cruzamentos. As tabelas abaixo descrevem os dados quantitativos desta análise.

Tabela 1—Dados estatísticos em porcentagem da recorrência de incêndio.

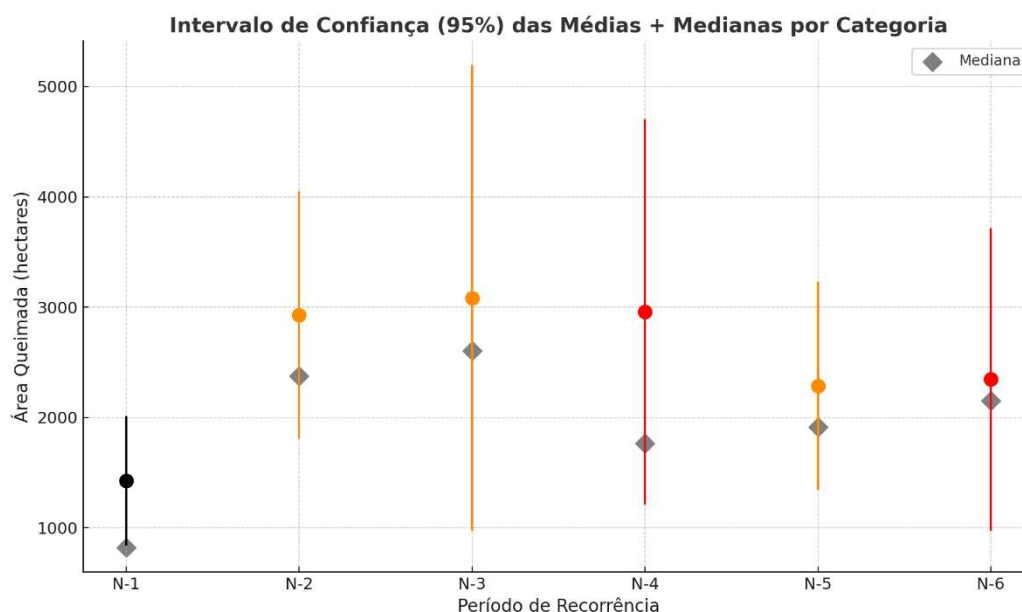
Parâmetros	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6
Média	11,19%	19,96 %	16,48%	19,09%	17,42%	18,40%
Desvio Padrão	12,60%	12,47 %	9,98%	12,78%	11,28%	14,89%
Mediana	8,04%	18,15 %	12,58%	18,03%	13,70%	14,29%

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A média e mediana das porcentagens de áreas queimadas após o primeiro ano de referência foi a menor quando comparada aos demais intervalos. Períodos intervalares maiores que um ano chegaram a registrar médias valores em até 78% acima desta referência.

Para confirmar essa tendência estatisticamente, foi aplicado um teste t de Student unilateral com a hipótese alternativa de que a média da área queimada na categoria N-1 seria inferior à média das categorias N-2 a N-6. O resultado apontou um valor-p de 0,02, indicando significância estatística ao nível de 5%. Ou seja, há evidência estatística robusta de que a área queimada no primeiro ano após um incêndio (recorrência N-1) é de fato significativamente menor do que nos anos subsequentes, conforme ilustrado no gráfico abaixo.

Figura 12 – Intervalo de Confiança (95%) das médias



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Resultados semelhantes foram observados quando se analisou valores absolutos de áreas queimadas, conforme ilustrado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Dados estatísticos de área queimada (hectares) da recorrência de incêndio.

Parâmetros	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6
Média	1422,86	2928,31	3082,48	2955,17	2285,20	2344,76
Desvio Padrão	1060,02	1942,07	3496,72	2748,82	1404,12	1918,88
Mediana	817,29	2376,405	2602,89	1766,02	1911,51	2150,64

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As médias das cicatrizes de queima com períodos intervalares iguais ou superiores a dois anos chegaram a representar valores superiores de até duas vezes, quando comparado ao intervalo de um ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu explorar as regiões espaciais atingidas por incêndios florestais nos limites do Distrito Federal. Foi catalogado que aproximadamente 30% da área com algum combustível florestal já foi, ao longo dos anos entre 2007 e 2022, atingida por incêndios pelo menos uma vez. Poucas regiões da cobertura analisada sofrem a incidência de fogo com frequências superiores a 6 seis vezes (1,63%).

Regiões fisionômicas como as formações savânicas e campestres naturais representaram aproximadamente 70% das formações mais atingidas por incêndios florestais, seguida das áreas destinadas a agricultura, pastagens e formações florestais.

As altas frequências de incêndios florestais foram observadas em regiões com uso bastante diverso. Chamou a atenção o Parque Ecológico Boca da Mata, que registrou 79% de sua delimitação, ou seja, 154 hectares sinistrado, por este desastre, entre 10 e 16 vezes no período analisado.

O cruzamento das imagens pixel a pixel aos pares anuais permitiu avaliar as áreas comuns incendiadas. Notou-se que as intersecções das áreas queimadas em intervalos de 1 ano apresentaram médias e medianas das distribuições menores, quando comparada em intervalos maiores. A recorrência em períodos superiores a um ano chegou representar até 78% a mais em área queimada quando comparada à recorrência de um ano.

Estes resultados elucidaram que períodos curtos, ou seja, entre anos consecutivos, as áreas queimadas, tanto em valores absolutos quanto em porcentagem, a partir de um ano de referência são sempre menores, passando a registrar valores médios superiores em seguida, mas também erráticos.

Desta forma, este estudo indica que entre anos consecutivos, há uma intersecção média menor entre as áreas incendiadas, porém em comparações não consecutivas, apesar de registros de valores maiores em seus parâmetros

estatísticos, estes dados não apresentam uma tendência uniforme de crescimento.

Esta evidência, ilustrada por este trabalho, pode subsidiar as atividades de prevenção e combate dos órgãos de resposta, pois o foco destas atividades no ano seguinte de uma determinada área ardida pelo fogo pode ser focada em áreas atingidas pelo fogo em períodos posteriores ou nas regiões de alta frequência, pois foi evidenciado que em anos consecutivos as áreas possuem uma baixa recorrência com média de 11% de intersecções sinistradas por fogo.

6 REFERÊNCIAS

ALENCAR, Ane. A. C.; ARRUDA, Vera L. S.; SILVA, SILVA, Wallace Vieira da; CONCIANI, Dhemerson E.; COSTA, Diego Pereira; CRUSCO, Natália; DUVERGER, Soltan Galano; FERREIRA, Nilson Clementino; ROCHA, Washington França; HASENACK, Heinrich; MARTENEXEN, Luiz Felipe Moraes; PIONTEKOWSKI, Valderli J.; RIBEIRO, Noley Vicente; ROSA, Eduardo Reis; ROSA, Marcos Reis; SANTOS, Sarah Moura B. dos; SHIMBO, Julia Z.; MARTIN, Eduardo Vélez. **Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning**. Remote Sensing. V. 14, N. 11, 2022.

BRASIL, Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Curso de Sistema de Comando de Incidentes**. SENASP. Brasília. 2ª ed. 2008.

CHUVIECO, Emilio; LOIOLA, Joshua Lizundia; PETTINARI, M. Lucrecia; RAMO, Ruben; PADILLA, Marc; TANSEY, Kevin; MOUILLOT, Florent; LAURENT, Pierre; STORM, Thomas; HEIL, Angelika; PLUMMER, Stephen. **Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies**. Earth System Science Data, v.10, n.4, p. 2015-2031. 2018.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (CODEVASF). **Caderno de caracterização: do Distrito Federal**. Publicações, Brasília-DF, 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF). **Relatório Operação Verde Vivo 2016**. CBMDF, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF)..
Relatório Operação Verde Vivo 2017. CBMDF, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF)..
Relatório Operação Verde Vivo 2021. CBMDF, 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL (CBMDF)..
Relatório Operação Verde Vivo 2022. CBMDF, 2022.

DISTRITO FEDERAL. **Uso e Cobertura do Solo – 2019**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação. GeoPortal - DF: IDE/DF. Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>. Acesso em: 01 março 2024.

DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar Nº 803, de 25 de abril de 2009 - Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal — PDOT e dá outras providências**. SINJ-DF, 2009.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. **The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation**. Journal of Applied Ecology, 53(1), 11-15, 2016.

FERRO, P. D. **Deteção de Cicatrizes de Áreas Queimadas no Oeste do Estado de Rondônia por Diferentes Produtos Globais e Regionais e suas Implicações para as Estimativas de Emissões de Carbono**. São José dos Campos - SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2022.

FERRO, P. D. **Estimativas de desmatamento e queimadas em tempo quase real na Amazônia Sul Brasileira: um passo para popularização de dados**. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia-INPA, Manaus. 60p. 2021.

FRANKE, Jonas; BARRADAS, Ana Carolina Sena; BORGES, Marco Assis; COSTA, Máximo Menezes; DIAS, Paulo Adriano; HOFFMANN, Anja A.; FILHO, Juan Carlos Orozco; MELCHIORIE, Arturo Emiliano; SIEGERT, Florian. **Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management**. Remote Sensing of Environment, 221-232. 2018.

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; HUMBER, M. L.; JUSTICE, C. O. **The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product**. Remote Sensing of Environment, v. 217, p. 72-85, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022. s/d.** Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 01 março 2024.

LIBONATI, Renata; DACAMARA, Carlos C.; SETZER, Alberto W.; MORELLI, Fabiano; MELCHIORI, Arturo E. **An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery.** Remote sensing, v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 2015.

LONG, T.; ZHANG, Zhaoming; HE, Guojin; JIAO, Weili; TANG, Chao; WU, Bingfang; ZHANG, Xiaomei; WANG, Guizhou; YIN, Ranyu. **30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine.** Remote Sensing. v.11, n. 489, 2019.

MAPBIOMAS. **Mapa de Uso e Cobertura do Solo ano 2022 – Distrito Federal v 8.0.** Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 de abril de 2024.

MEDEIROS, Marcelo Brilhante de; MIRANDA, Heloísa Sinátora. **Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais.** Acta Botânica Brasilica, v. 19, n. 3, p. 493-500. 2005.

MELCHIORI, Arturo E.; SETZER, Alberto W.; MORELLI, Alberto; LIBONATI, Renata; CÂNDIDO, Pietro de Almeida; JESÚS, Sílvia C. de. **A landsat-tm/oli algorithm for burned areas in the brazilian cerrado: preliminary results.** *Advances in Forest Fire Research.* Coimbra University Press Coimbra, Portugal, p. 23–30, 2014.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org). **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** UNB e CNPq. Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA (MJSP). **Contrato Nº 18/2020 - DITEC/PF e Nota de Empenho.** DITEC/PF, Brasília, 2020.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano.** Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 294p., 2003.

OLIVEIRA FILHO, E. C.; BRITO, D. Q.; DIAS, Z. M.; GUARIEIRO, M. S.; CARVALHO, E. L.; FASCINELI, M. L.; GRISOLIA, C. K. **Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach.** Science of the Total Environment, 618, 101-111, 2018.

PINTO, João Henrique Corrêa. **Sensoriamento Remoto Aplicado a Investigação de Incêndio Florestal**. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. 2021.

PIVELLO, V.R.; COUTINHO, L.M. **Transfer of Macro-nutrients to the Atmosphere During Experimental Burnings in an Open Cerrado (Brazilian savanna)**. Journal of tropical ecology, 8: 487-497, 1992.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. **Cerrado: Ambiente e Flora**. Fitofisionomias Do Bioma Cerrado. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

LABOURIAU, Maria Léa Salgado; VICENTINI, K. R. Ferraz. **Fire in the Cerrado 32.000 yers Ago**. Research in the Pleistocene, 11: 85-87, 1994.

LABOURIAU, Maria Léa Salgado. **Alguns Aspectos sobre a Paleoecologia dos Cerrados**. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Ministério do Meio Ambiente. 106-118, 2005.

SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, SP de; RIBEIRO, José Felipe. **Cerrado. Ambiente e flora**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Planaltina. Distrito Federal. Figura, v. 1, 1998.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; DICK, Grasielle. **Incêndios Florestais**. Departamento de Ciências Florestais, UFSM. 3. ed. ver, 2018.

SOUZA, C.A.; PARANHOS FILHO, A.C.; GUARALDO. E. **Estudo bibliométrico sobre ilhas de calor urbanas e zonas climáticas locais**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26, p. 51-69, 2020.

SUTIL, T.; PEREIRA, Jori Ramos; LADWIG, Nilzo Ivo; ZOCHE, Jairo José; PEREIRA, Jader Lima. **Geoprocessamento na Análise Ambiental**. Criciúma/SC, 2020.